



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**  
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

**Proyecto Fin de Carrera**  
**ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE UN**  
**BUQUE DE GRAN ESLORA EN**  
**MATERIALES COMPUESTOS**

**JOSÉ LUIS SÁEZ HERNÁNDEZ**  
**2013**

*En memoria de Isaac Peral y Caballero*  
*Cartagenero, marino e ingeniero naval*  
*En el 125 aniversario de la botadura de su submarino*

- ESTA PÁGINA HA SIDO INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO -



## Referencia del Proyecto

### **TÍTULO DEL PROYECTO**

Análisis de Viabilidad de un Buque de Gran Eslora en Materiales Compuestos

*Feasibility analysis of a high lenght craft in composite materials*

### **ESCUELA**

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica

### **TITULACIÓN**

Ingeniero Naval y Oceánico

### **DEPARTAMENTO**

Tecnología Naval

### **ALUMNO**

José Luis Sáez Hernández

### **DIRECTOR DEL PROYECTO**

Germán Romero Valiente





## **Índice General del Proyecto**

**Capítulo 1. Memoria explicativa del Proyecto**

**Capítulo 2. Arquitectura Naval**

**Capítulo 3. Cálculo Estructural**

**Capítulo 4. Pesos y centro de gravedad**

**Capítulo 5. Situaciones de carga. Estabilidad**

**Capítulo 6. Producción**

**Capítulo 7. Presupuesto**

**Capítulo 8. Análisis comparativo**



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**  
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

**Proyecto Fin de Carrera**  
**ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE UN**  
**BUQUE DE GRAN ESLORA EN**  
**MATERIALES COMPUESTOS**

**CAPÍTULO 1**  
**Memoria Explicativa del Proyecto**

**JOSÉ LUIS SÁEZ HERNÁNDEZ**



- ESTA PÁGINA HA SIDO INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO -



## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>5</b>
<b>2. Objetivo del proyecto</b>	<b>7</b>
<b>2.1. Alcance del Proyecto</b>	<b>7</b>
2.1.1. Escantillonado	7
2.1.2. Pesos	8
2.1.3. Situaciones de carga y estabilidad	8
2.1.4. Propulsión	8
2.1.5. Fuego	9
2.1.6. Producción y coste	9
<b>3. Buque de Referencia. Especificación.</b>	<b>10</b>
<b>3.1. Especificación del Trimarán</b>	<b>11</b>
3.1.1. Eslora y número de Froude	11
3.1.2. Manga	12
3.1.3. Puntal	12
3.1.4. Formas	14
3.1.5. Disposición general	15
3.1.5.1. Mamparos	15
3.1.5.2. Cámara de Máquinas	16
3.1.5.3. Tanques	16
3.1.5.4. Cubiertas	16
<b>3.2. Clasificación y notación</b>	<b>18</b>
<b>3.3. Análisis de la misión</b>	<b>19</b>
<b>4. Obtención de las Formas</b>	<b>21</b>
<b>5. Bibliografía</b>	<b>23</b>



## Figuras

Figura 1. Vista 3D del Trimarán	10
Figura 2. Sección longitudinal del Trimarán	11
Figura 3. Secciones en planta del Trimarán	13
Figura 4. Sección del Puente de Mando del trimarán	14
Figura 5. Disposición de los mamparos transversales en el modelo de Rhinoceros	15
Figura 6. Disposición de las cubiertas en el modelo de Rhinoceros	17
Figura 7. Plano de formas original	21



## **1. Introducción**

La evolución de los *fast ferries* para el transporte de pasajeros ha experimentado desde sus inicios, hace más de 50 años, un crecimiento continuo, y siempre potenciado por la competencia de un mercado que se ajusta a las nuevas necesidades del cliente y que, en el caso de España, se ve favorecido por la idoneidad de este tipo de barcos a las características de nuestro tráfico de pasajeros.

Este crecimiento de la demanda de pasajeros, ha impulsado una evolución técnica y comercial de estos barcos, que con el paso de los tiempos se ha ido racionalizando para encontrar un producto cada vez más equilibrado.

El transporte en general comparte una serie de particularidades y necesidades, como pueden ser la disminución de pesos, fiabilidad y seguridad. La disminución del peso, suministra un potencial para el bajo consumo y el aumento del pay-load, factores que inciden directamente sobre el éxito comercial; la fiabilidad es esencial para la sustentabilidad y aprovechamiento de la frecuencia del transporte; y la seguridad es de crucial importancia para los pasajeros y los operadores.

Estas tres características, comunes en todos los ámbitos del transporte, constituye en el caso de los buques de alta velocidad un requisito extremo y con márgenes de error considerablemente reducidos, por lo que la importancia del desarrollo tecnológico aplicado a los buques de alta velocidad debe ser la fuente de inspiración para el futuro, sin olvidar la meta final, la satisfacción del cliente (armador) proporcionándole ese trinomio peso-fiabilidad-seguridad.

Parte de las investigaciones encaminadas en la mejora de dicho trinomio se desarrollan en la búsqueda de mejoras que actúen sobre la disminución del peso en rosca de las unidades que afectan directamente en mayores velocidades, menores consumos y/o mayores pay-load.



Así se dirigen las investigaciones en la búsqueda de materiales más ligeros con mayor resistencia, abandonando proyectos como el empleo de aluminio del tipo aeronáutico o la soldadura sólida aluminio-acero, existiendo avances muy significativos en el empleo de materiales compuestos en estructura sándwich.

Con el impulso del Short Sea Shipping en Europa, este mercado tiene unas perspectivas de crecimiento que lo erige en un referente importante tanto en la construcción naval, como en la operación de buques. Parece fuera de toda duda que, para navegaciones inferiores a tres horas, el transporte marítimo de pasajeros puede ser un eficaz competidor del tráfico aéreo.

Se presenta un Proyecto Fin de Carrera, que pretende ser un análisis académico de nuevas vías de mercado en la construcción naval de fast ferries, buques de gran eslora tradicionalmente fabricados en metal (acero o aluminio), que mediante su construcción en materiales compuestos pueden tener un menor peso.



## **2. Objetivo del proyecto**

El objetivo del proyecto es analizar la viabilidad técnica de la construcción del Trimarán de referencia en materiales compuestos y a su vez realizar una comparativa con la construcción en aluminio presentada en el Proyecto nº 1664 de la Escuela Técnico Superior de Ingeniería Naval de Madrid (ETSIN).

### **2.1. Alcance del Proyecto**

#### **2.1.1. Escantillonado**

Se determinará la situación, espaciado y escantillón de los elementos principales de la estructura que suministren adecuada resistencia y seguridad, minimizando el peso y/o el coste económico.

Para el análisis comparativo se usará en una primera aproximación el reglamento del DNV, Rules For Classification of Det Norske Veritas “High Speed, Light Craft And Naval Surface Craft”.

Con objeto de conseguir un diseño intrínsecamente seguro, se optará (si fuera requerido) por realizar un diseño racional de la estructura basado directa y enteramente en la teoría de estructuras y en métodos de análisis y optimización estructural implementado por ordenador.

El objetivo será demostrar que la estructura construida en materiales compuestos satisface el objetivo de minimizar el peso en rosca, logrando suficiente resistencia ante la aplicación de idénticas cargas, sin poner en riesgo la seguridad del buque.





### **2.1.2. Pesos**

Se analizará la nueva distribución de pesos y el centro de gravedad resultante. El peso en rosca constituirá la función objetivo del diseño de la estructura, ya que el rendimiento de buques de alta velocidad radica en este valor.

Un menor peso del casco hará disminuir el peso en rosca del buque, una vez sumada la maquinaria y los equipos y servicios. Por consiguiente, el buque tendrá un menor desplazamiento, y ello podría conllevar una menor potencia en los motores propulsores, y por ende un menor gasto de combustible, minimizando así los costes de operación y aumentando la rentabilidad del armador.

### **2.1.3. Situaciones de carga y estabilidad**

Se analizarán las distintas condiciones de carga del buque que exijan las normas internacionales y de la Sociedad de Clasificación DNV, verificando el cumplimiento de la estabilidad del buque intacto para cada una de ellas.

El objetivo será demostrar que las condiciones marinerías del buque no se ven afectadas o empeoradas por la construcción en materiales compuestos, y la seguridad del pasaje tampoco.

### **2.1.4. Propulsión**

Se analizarán los requisitos de potencia una vez que la disminución de peso hará variar el calado de proyecto. Del estudio de la resistencia al avance, y los valores de las relaciones eslora-manga y manga-calado, y la distribución del volumen de carena a lo largo de la eslora (curva de área de secciones), se sacarán conclusiones acerca de la idoneidad o no de la propulsión instalada originariamente.



#### **2.1.5. Fuego**

Se pondrá especial cuidado en el análisis de requisitos que las Sociedades de Clasificación establecen para la seguridad de los buques en la lucha contra el fuego, principal handicap de los buques contruidos en materiales compuestos.

#### **2.1.6. Producción y coste**

Se analizarán los costes productivos derivados de la construcción en materiales compuestos, en comparación con los costes de construcción de la estructura de aluminio, los procesos de soldadura, la preparación de superficies y pintura.



### **3. Buque de Referencia. Especificación.**

Se usará como buque de referencia el Trimarán diseñado por Juan Pablo Ortega Suárez y Rodrigo Pérez Fernández, como proyecto fin de carrera nº 1664 en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de Madrid, quienes han aprobado su uso y facilitado asimismo información sobre el mismo, motivo por el cual estamos profundamente agradecidos.

Se trata de un trimarán de 50 m de eslora, con 850 Tn de desplazamiento, velocidad máxima de 42 nudos, 500 millas de autonomía y capacidad de transporte de 250 pasajeros, el cual fue diseñado enteramente en aluminio, como requisito de proyecto.

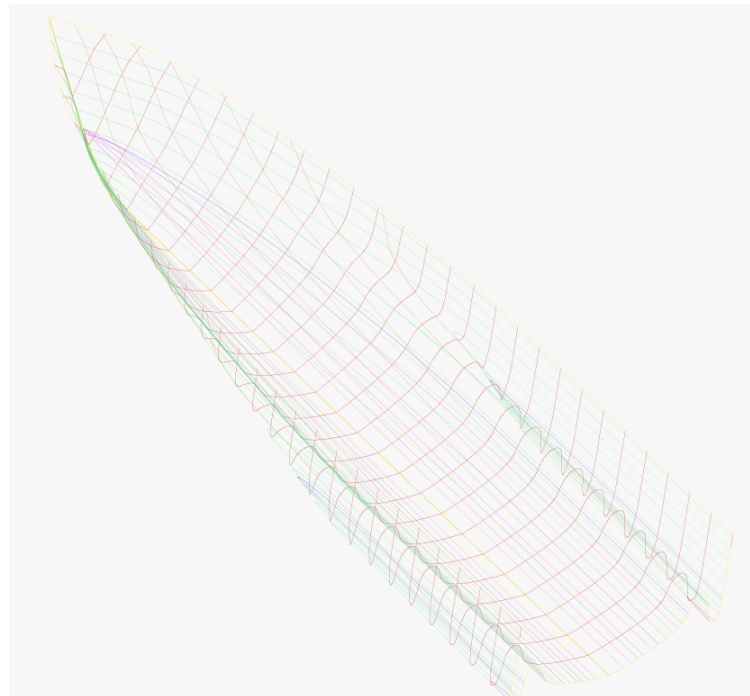


Figura 1. Vista 3D del Trimarán

Para el diseño del Trimarán de Aluminio se utilizó el reglamento del Lloyds Register of Shipping.



Se trata de un buque de alta tecnología y confort, capaz de transportar a los pasajeros de manera confortable, a la vez de disponer de un casino para la diversión de los mismos mientras navegan entre Barcelona y Palma de Mallorca.

Incorpora tres waterjets como propulsión principal y dos empujadores o “bow thrusters” para facilitar las maniobras de atraque y salida de puerto.

Es un buque que vende modernidad y diseño, que estaría destinado a ser el buque insignia de cualquier naviera, armador u oficina técnica.

### 3.1. Especificación del Trimarán

#### 3.1.1. Eslora y número de Froude

El buque tiene una eslora entre perpendiculares ( $L_{pp}$ ) de 50 m, y una velocidad máxima de 42 nudos. A partir de ambos requisitos, se obtiene el número de Froude:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}} = \frac{40 \cdot 0,5144}{\sqrt{9,8 \cdot 50}} = 0,976$$

Mediante el número de Froude se verifica la condición de buque de planeo. A mayor velocidad, o mayor número de Froude, mayor es la resistencia al avance, sin embargo al alcanzar  $Fn=0,5$  se produce el despegue del buque del agua y se origina el planeo, debido a una disminución efectiva de la citada resistencia.

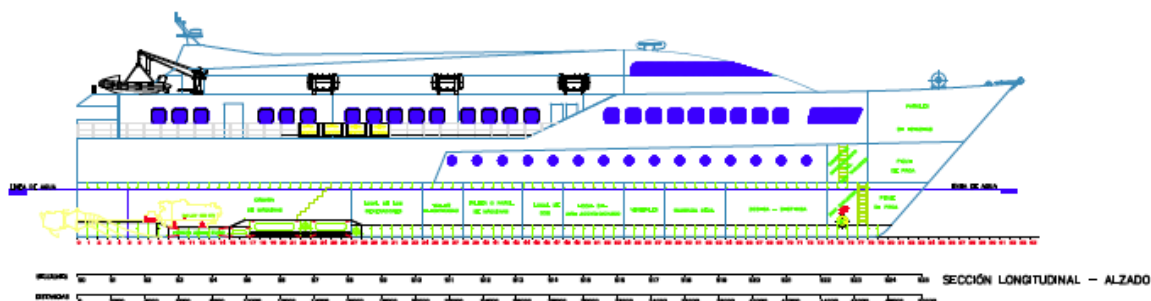


Figura 2. Sección longitudinal del Trimarán



### **3.1.2. Manga**

La manga del buque queda determinada por la necesidad de asientos en la cubierta de pasaje alternados con los pasillos, debiendo disponer de 16 filas de asientos dispuestos simétricamente respecto a crujía.

Asignando 500 mm de ancho por asiento y 1200 mm de ancho por pasillo, añadiendo 1500 mm por refuerzos y espesores, se llega a obtener una manga de 15,5 m.

La ventaja del Trimarán frente al monocasco, en lo que a resistencia al avance se refiere, es que el poder repartirse su obra vivan tres cascos diferentes, éstos pueden ser mucho más esbeltos y ofrecer así una menor resistencia al avance que un monocasco de capacidad equivalente. Se diseñan los cascos del buque tan estrechos como es posible en función de la limitación principal que se encuentra en el interior de estos cascos para albergar los elementos propulsivos.

La presencia de un casco en las proximidades de otro produce una serie de interferencias entre ambos que suelen traducirse en un incremento de la resistencia al avance del conjunto, sobre todo en catamaranes. Sin embargo los trimaranes tienen la ventaja sobre los catamaranes de disminuir las interferencias entre cascos laterales debido a la presencia del casco central.

### **3.1.3. Puntal**

Para dar una solución a los requisitos planteados, el buque de referencia cuenta con tres cubiertas, cuyos puntales son:

- Puntal a la cubierta principal o casino: 3,15 m
- Puntal a la cubierta pasaje: 5,8 m
- Puntal a la cubierta puente: 8,4 m



Bajo la cubierta principal se haya el doble fondo, que alberga la cámara de máquinas y los distintos tanques de almacenamiento de fluidos (combustible, agua, etc.)

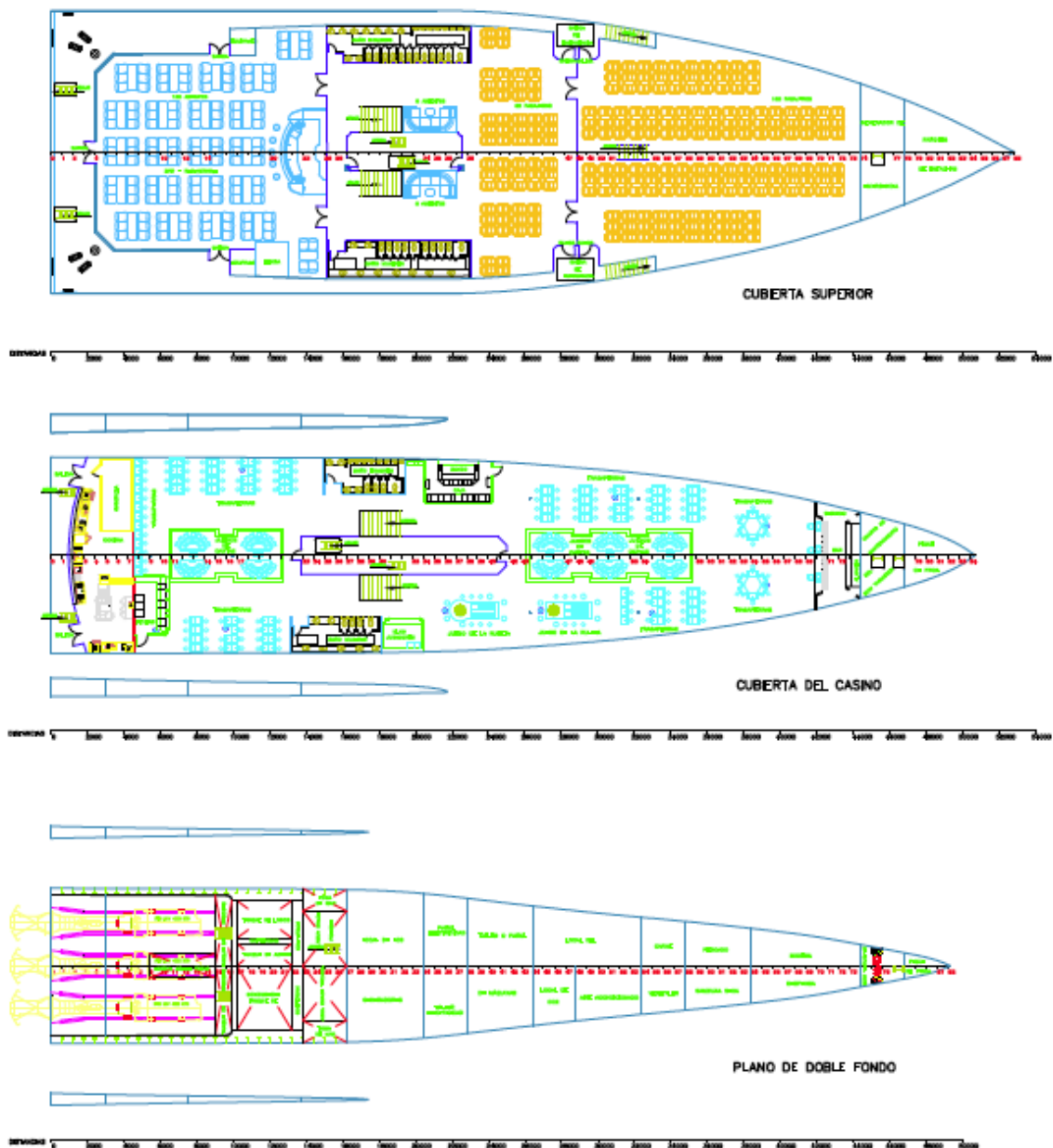


Figura 3. Secciones en planta del Trimarán

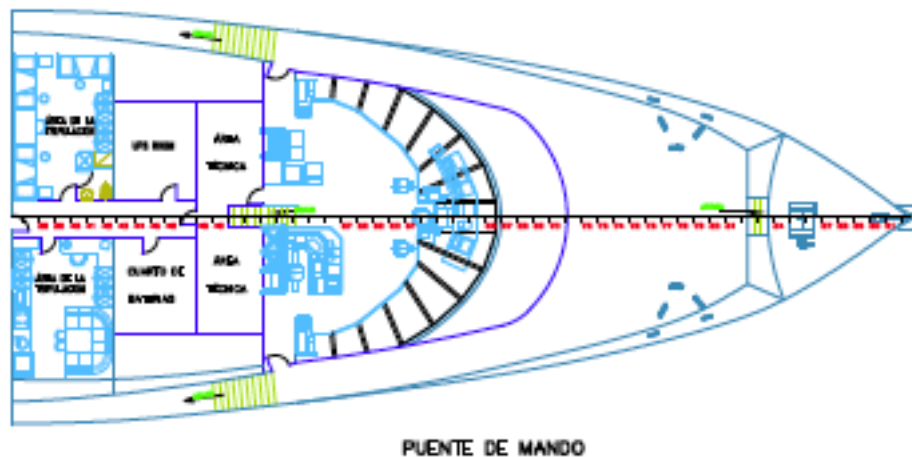


Figura 4. Sección del Puente de Mando del trimarán

#### **3.1.4. Formas**

Las formas del buque son un factor fundamental del proyecto debido a las altas exigencias de velocidad del buque, cuya máxima es de 42 nudos, y al tratarse de un barco ideado para trayectos cortos con una frecuencia de viajes alta, debiendo garantizar un correcto balance económico al cubrir la ruta en el menor tiempo posible y reduciendo al mínimo su consumo.

En la generación de formas de un Trimarán se deben tener en cuenta una gran cantidad de variables, tales como la geometría y la disposición de los cascos, en concreto su posición relativa entre ellos.

Se dispone de un casco central de gran esbeltez con proa en forma de V pronunciada, de cara a evitar problemas acusados por slamming y mejorar su comportamiento en la mar debido al cabeceo. Tiene unas buenas características hidrodinámicas que facilitan el planeo. Y los cascos laterales proporcionan una reserva de flotabilidad y estabilidad confiriendo al buque un comportamiento extraordinario ante fenómenos de balanceo.



### 3.1.5. Disposición general

#### 3.1.5.1. Mamparos

El Trimarán dispone de tres mamparos transversales:

- Mamparo de colisión o de pique de proa. Viene reglado por el SOLAS, donde se define que debe ser estanco hasta la cubierta de cierre. Se sitúa a una distancia de la perpendicular de proa no inferior al 5% ni superior al 8% de la eslora del buque, esto es, entre 2,5 m y 4 m. En el caso del buque en aluminio, el mamparo de colisión se situaba a 46,2 m de la perpendicular de popa, sobre la cuaderna 77 de construcción. Para nuestro diseño en materiales compuestos, se situará a 46 m para hacerla coincidir con una cuaderna de construcción, por tanto se desplaza 0,2 m a popa.

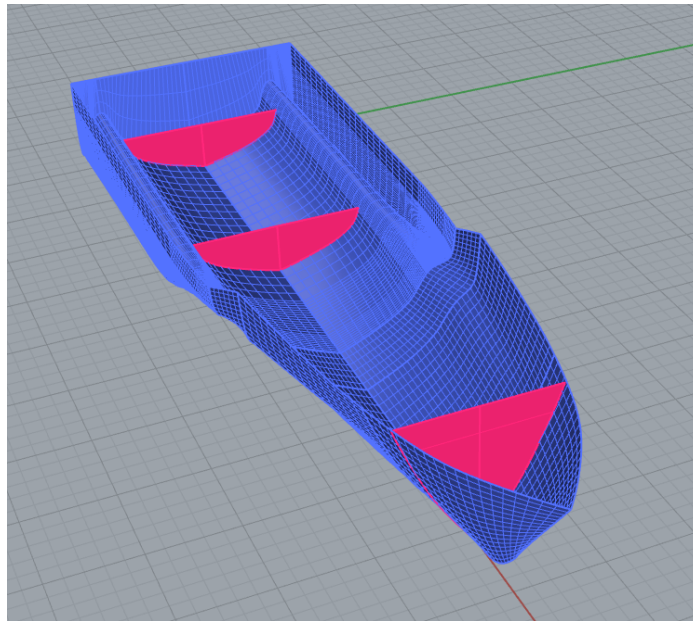


Figura 5. Disposición de los mamparos transversales en el modelo de Rhinoceros

- Mamparo del pique de popa. Se sitúa a 3 m de la perpendicular de popa en función de la definición de la cámara de máquinas, siendo a su vez el mamparo de popa de la citada cámara de máquinas.





- Mamparos de máquinas. El mamparo de popa es coincidente con el de pique de popa, conforme se acaba de indicar, y el mamparo de proa se sitúa a 16 m en base a las dimensiones de los propulsores.

#### **3.1.5.2. Cámara de Máquinas**

La cámara de máquinas se sitúa en el casco central, debido a la geometría del buque, y a popa del mismo lógicamente. Se sitúa entre los mamparos de pique de popa y el mamparo de proa de la cámara. La manga del compartimento es de 10 m.

#### **3.1.5.3. Tanques**

El buque dispone de los siguientes tanques, todos dispuestos en el doble fondo:

- Tanque de combustible (diesel oil), de 15000 litros.
- Tanque de aceite limpio, de 1700 litros.
- Tanque de aceite sucio, situado bajo el motor central.
- Tanque de rebose.
- Tanque de lodos.
- Tanque de agua dulce, de 2500 litros.
- Tanque de agua dulce técnica.

#### **3.1.5.4. Cubiertas**

El buque dispone de las siguientes cubiertas:

- Cubierta casino: Situada a 3,15 m de la línea base, se destina al divertimento del pasaje a bordo del ferry. Dispone de los siguientes espacios:
  - Gran casino.
  - Cocina.



- Gambuza.
- Cubierta de pasaje: Situada a 5,8 m de la línea base, se destina a albergar los asientos del pasaje principalmente. Dispone de los siguientes espacios:
  - Zona de pasaje.
  - Aseos.
  - Bar-restaurante.
  - Vestíbulo, pasillos y escaleras.
  - Comedor de la tripulación.

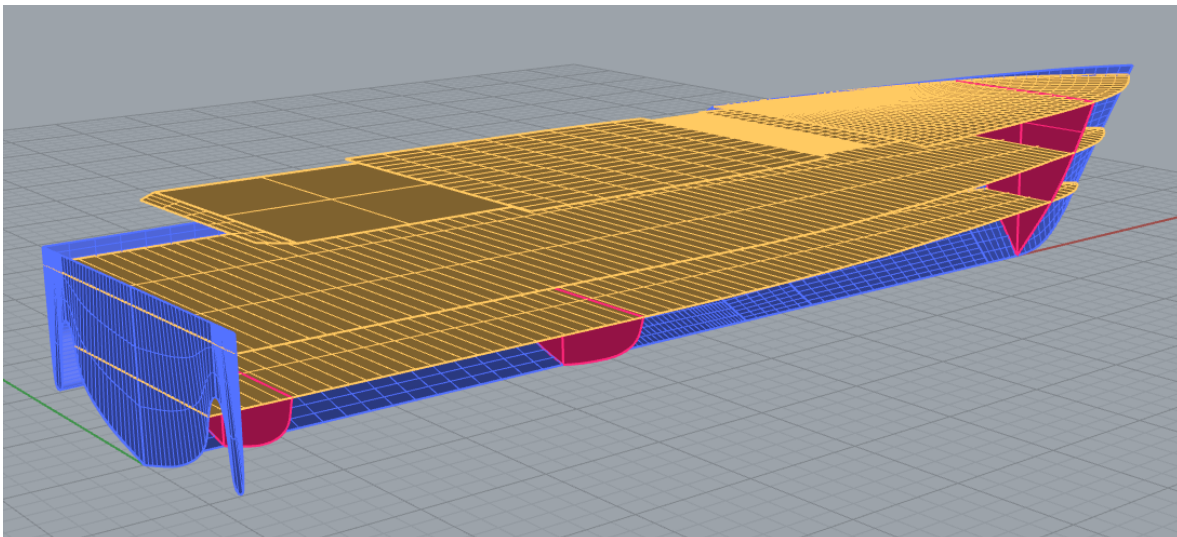


Figura 6. Disposición de las cubiertas en el modelo de Rhinoceros

- Cubierta puente: Situada a 8,4 m de la línea base, se destina a albergar el puente de mando y los camarotes de la tripulación. Dispone de los siguientes espacios:
  - Camarotes de los 54 tripulantes.
  - Salón.
  - Enfermería.
  - Lavandería.




- Local de aire acondicionado.
- Almacén.
- Local de contraincendios.
- Puente de mando.

### 3.2. Clasificación y notación

Se especifica a continuación la clasificación del buque en base al reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface” en su Pt.1 Ch.1 de la Sociedad de Clasificación Det Norske Veritas (DNV).

Todo buque que satisface los requerimientos impuestos por el reglamento en Pt. 1, Pt. 2, Pt. 3 y Pt. 4 le será dado la clasificación principal consistente en el símbolo de construcción, un carácter principal de la clasificación y la notación de buque ligero (LC) o buque ligero de alta velocidad (HSLC).

 1A1

Además el barco debe cumplir con el reglamento IMO de alta velocidad, es decir con el HSLC (High Speed and Light Craft) puesto que su velocidad máxima de 42 nudos excede de:

$$V = 7,19 \cdot \Delta^{1/6} = 7,9 \cdot 831,36^{1/6} = 24,22 \text{ nudos}$$

Por tanto, el buque tendrá notación HSLC:

 1A1 HSLC

En cuanto a restricciones por área de servicio, al tratarse de un buque de pasaje con notación de áreas de servicio y restricción R0, con desplazamientos en invierno de hasta 300 millas:

 1A1 HSLC R0 Passanger



El buque llevará además la notación de clase adicional E0 por llevar cámara de máquinas desatendidas.

La clasificación del buque proyecto será:

 **1A1 HSLC R0 Passanger E0**

Además del reglamento HSLC, se deberán cumplir todos los requerimientos especiales para pasaje IMO y de las distintas administraciones locales.

Igualmente, cumplirá la normativa SOLAS.

### **3.3. Análisis de la misión**

Se trata de un buque de pasajeros de alta tecnología, rápido y confortable, dirigido a personas con un nivel económico medio/alto que cubrirá rutas cortas de unas 250 millas a lo sumo, como es el trayecto entre Barcelona y Palma de Mallorca, en un tiempo razonablemente corto.

El buque pretende satisfacer la posibilidad de realizar actividades lúdicas durante la navegación, de ahí que se optara por incluir un casino, obteniéndose una segunda e importante fuente de ingresos, algo que en palabras de sus diseñadores le proporciona un atractivo extra.

Se requiere un servicio “superior” con grandes calidades en restauración, que obligará a albergar una buena reserva de víveres.

La tripulación debe ser suficientemente cualificada para prestar el servicio debido y la relación pasajero-tripulación nunca será inferior a 5 para proporcionar dicho servicio de calidad.

De esta forma, los aspectos de mérito en el diseño original del Trimarán fueron:

1. Una buena estabilidad y un buen comportamiento en la mar, que proporcionen una adecuada seguridad y gran confortabilidad al pasaje.



2. Una buena distribución de espacios para optimizar el flujo de tripulación y sobre todo pasajeros.
3. Unas características hidrodinámicas que permitan alcanzar altas velocidades de planeo.
4. Una gran maniobrabilidad para minimizar las operaciones de atraque y salida de puerto.
5. Un bajo consumo con la intención de maximizar el beneficio.



## 4. Obtención de las Formas

De cara al análisis comparativo objeto de este Proyecto, se ha tomado el plano de formas original del proyecto como punto de partida para generar un modelo del buque.

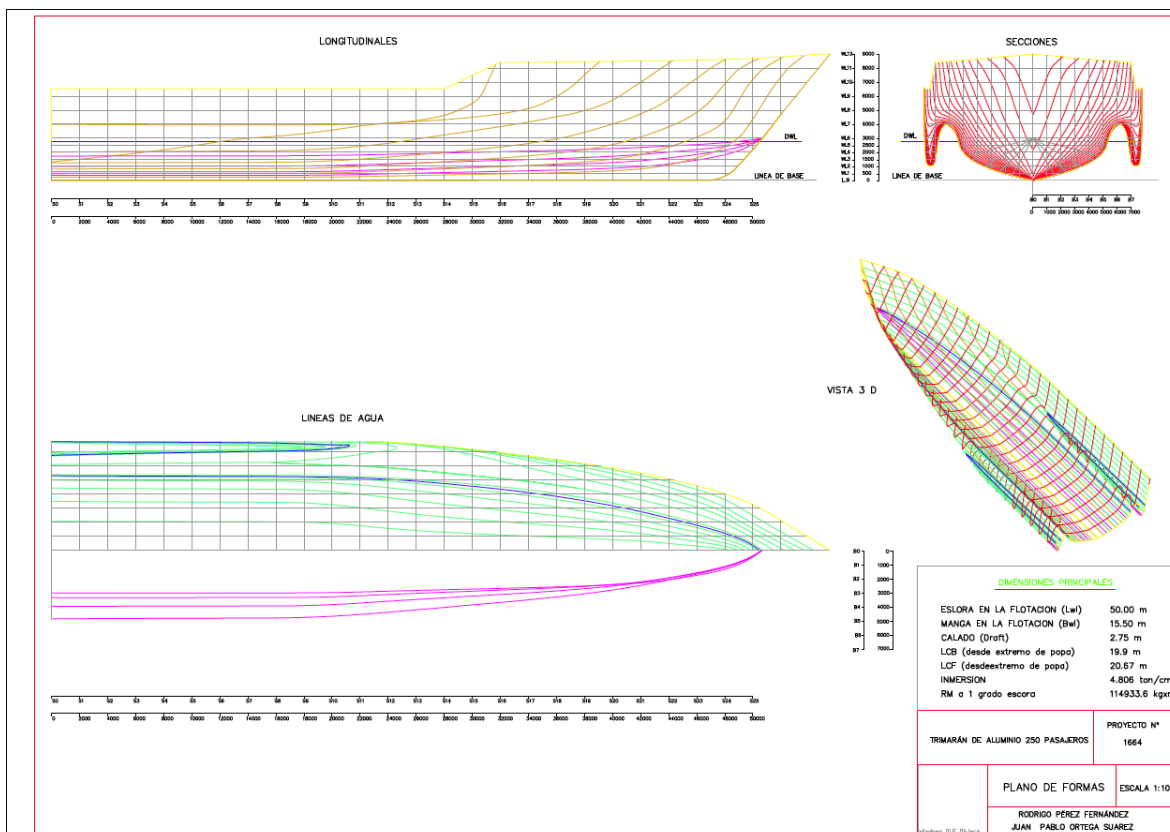


Figura 7. Plano de formas original

Para la creación del modelo tridimensional de trabajo, se ha usado como herramienta el programa Rhinoceros. El procedimiento ha consistido básicamente en calcar del plano de formas original, a partir de cuyas líneas se ha creado una serie de superficies NURBS. A partir de aquí, se ha trabajado en el alisado de la superficies de forma que el modelo se acerque al máximo al buque de referencia.



En Rhinoceros, se ha introducido una imagen bitmap como fondo del plano de trabajo. Partiendo de esta imagen de fondo, se procede a calcar las líneas del plano de formas correspondientes a cuadernas, líneas de agua y longitudinales.

La construcción de las formas se realiza en cada vista con una adecuada referencia al origen, se procede a girarlas adecuadamente y se sitúan en función del origen de coordenadas, que se situó en la perpendicular de popa y en la línea base (quilla).

Tras esto se procede al espaciado de las formas conforme a la separación entre líneas de agua, longitudinales o clara entre cuadernas. Se incluye igualmente el contorno del buque (quilla, costados, proa, etc.).

Seguidamente se procede a generar la superficie NURBS a partir de la red de curvas obtenida.

Se lleva a cabo a un alisado mediante las herramientas de control de Rhinoceros hasta conseguir unas superficies lo suficientemente correctas que nos sirvan para los objetivos marcados en el proyecto.

Una vez terminado el proceso de alisado, procedemos a construir el resto de superficies claves del buque, como los mamparos, las cubiertas y la superestructura; de tal forma que podamos realizar secciones transversales a lo largo de la eslora que nos posibiliten el análisis dimensional de las curvas, cálculo de áreas, cálculo de centros de gravedad, etc.

Las superficies correspondientes a los cascos del Trimarán se preparan para su exportación a Maxsurf, de cara a los análisis de coeficientes hidrostáticos, obtención de la curva de áreas, desplazamiento y calado de proyecto, estudio de la estabilidad intacta inicial, estabilidad a grandes ángulos o métodos de predicción de potencia, a través de los módulos Hydromax y Hullspeed.



## **5. Bibliografía**

### Escrita

- Proyecto nº 1664 “Trimarán de pasaje en aluminio”. J.P. ORTEGA y R. PÉREZ. ETSIN, Universidad Politécnica de Madrid.
- “Rhinceros, modeling tools for designers”, R. MCNEEL & ASSOCIATES
- “Manual de Usuario MaxSurf”, FORMATION DESIGN SYSTEMS, 1984 – 2003
- Reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft”, DET NORSKE VERITAS.





- ESTA PÁGINA HA SIDO INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO -



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**  
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

**Proyecto Fin de Carrera**  
**ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE UN**  
**BUQUE DE GRAN ESLORA EN**  
**MATERIALES COMPUESTOS**

**CAPÍTULO 2**  
**Cálculos de Arquitectura Naval**

**JOSÉ LUIS SÁEZ HERNÁNDEZ**



- ESTA PÁGINA HA SIDO INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO -



## Índice

1. Introducción .....	5
1.1. Curvas hidrostáticas .....	5
1.2. Curvas de brazos KN .....	6
2. Curva de Áreas .....	7
3. Curvas hidrostáticas .....	8
3.1. Curva de desplazamientos .....	13
3.2. Curva de superficie mojada .....	14
3.3. Curva de áreas de flotación .....	15
3.4. Curva de coeficientes hidrodinámicos .....	16
3.5. Curva de centros de carena y flotación .....	18
3.6. Curva de posición vertical del centro de carena .....	19
3.7. Curva del metacentro transversal .....	20
3.8. Curva del metacentro longitudinal .....	21
3.9. Curva de Toneladas por Centímetro de Inmersión ( $T_C$ ) .....	22
3.10. Curva de momento de trimado ( $M_{TC}$ ) .....	23
4. Curvas KN .....	24
5. Bibliografía .....	26



## Tablas

Tabla 1. Tabla de datos Curvas Hidrostáticas (de 0 a 1,25 m de calado) .....	10
Tabla 2. Tabla de datos Curvas Hidrostáticas (de 1,50 a 2,75 m de calado).....	11
Tabla 3. Tabla de datos Curvas Hidrostáticas (de 3 a 4 m de calado).....	12
Tabla 4. Tabla de datos Curvas KN .....	24

## Figuras

Figura 1. Curva de Áreas.....	7
Figura 2. Interfaz de Maxsurf.....	8
Figura 3. Curvas Hidrostáticas .....	12
Figura 4. Curva de Desplazamientos .....	13
Figura 5. Curva de Superficie Mojada .....	14
Figura 6. Curva de Área de la Flotación.....	15
Figura 7. Curva de coeficientes hidrodinámicos.....	17
Figura 8. Centros de Carena y Flotación.....	18
Figura 9. Curva de Posición Vertical del Centro de Carena .....	19
Figura 10. Curva del Radio Metacéntrico Transversal .....	20
Figura 11. Curva del Radio Metacéntrico Longitudinal.....	21
Figura 12. Curva de Toneladas por Centímetro de Inmersión .....	22
Figura 13. Curva del Momento de Trimado.....	23
Figura 14. Curva de Brazos KN.....	25



## 1. Introducción

En el Capítulo 2 de Arquitectura Naval, se obtienen los cálculos de arquitectura naval básicos que servirán para conocer más detalladamente las características del Trimarán, realizar una comparativa contra el modelo original, contrastar la bondad de las formas obtenidas y facilitarnos datos concluyentes tras el proceso de escantillonado.

Una vez obtenidas las formas del buque mediante el calco del plano de formas del Proyecto de referencia nº 1664, adaptación de dimensiones y alisado de las mismas en Rhinoceros, se procede a su exportación a Maxsurf donde se obtiene un modelo que nos permite trabajar en los distintos módulos de esta potente aplicación naval.

### 1.1. Curvas hidrostáticas

Las características básicas que dependen de la geometría del buque están representadas en las curvas hidrostáticas. Los datos de los diferentes parámetros se calculan para flotaciones paralelas y por lo general sin trimado o asiento.

Los resultados así obtenidos se sitúan en un diagrama en donde las ordenadas son los calados medios del buque, por tanto los calados correspondientes al centro de gravedad de la superficie de flotación.

Las curvas hidrostáticas que usualmente se representan son:

- a. Volumen de carena,  $\nabla$  ( $\text{m}^3$ )
- b. Desplazamiento,  $\Delta$  (tn)
- c. Superficie mojada,  $S_M$  ( $\text{m}^2$ )
- d. Área en la flotación,  $A_{FL}$  ( $\text{m}^2$ )
- e. Coeficiente prismático,  $C_P$
- f. Coeficiente de bloque,  $C_B$



- g. Coeficiente de la maestra,  $C_M$
- h. Coeficiente de la flotación,  $C_F$
- i. Abscisa del centro de carena, LCB (m)
- j. Abscisa del centro de flotación, LCF (m)
- k. Ordenada del centro de carena, KB (m)
- l. Ordenada del centro de gravedad, KG (m)
- m. Radio metacéntrico transversal,  $BM_T$  (m)
- n. Radio metacéntrico longitudinal,  $BM_L$  (m)
- o. Altura metacéntrica transversal,  $GM_T$  (m)
- p. Altura metacéntrica longitudinal,  $GM_L$  (m)
- q. Ordenada del metacentro transversal,  $KM_T$  m
- r. Ordenada del metacentro longitudinal,  $KM_L$  m
- s. Toneladas por Centímetro de Inmersión, TPc (tn/cm)
- t. Momento unitario para variar el asiento un centímetro, MTc (tn·m)

## 1.2. Curvas de brazos KN

La estabilidad de un buque para grandes ángulos de escora es totalmente dependiente de sus formas. Las denominadas curvas KN o curvas de brazos son aquellas que facilitan el cálculo de los brazos adrizantes. Dichas curvas KN para distintos ángulos de escora nos indican si el buque tiene suficiente estabilidad o por el contrario nos encontramos ante una situación adversa de insuficiente estabilidad.

En el caso del trimarán, la estabilidad transversal está prácticamente garantizada debido a las formas y dimensiones de este tipo de buques.



## 2. Curva de Áreas

La curva de áreas seccionales representa la posición de las cuadernas de trazado en abscisas y el área de la cuaderna hasta el calado de referencia en la ordenada. Esta curva se dibuja en un formato estándar de proporciones 2x1 que permite la comparación entre diseños. Tradicionalmente, esta curva de áreas se ha utilizado en los canales de experiencias para estudiar la bondad de unas formas.

La curva de áreas ha sido obtenida directamente empleando el programa “Maxsurf Pro” y se representa a continuación de manera normal, el área bajo la flotación en las diversas secciones transversales.

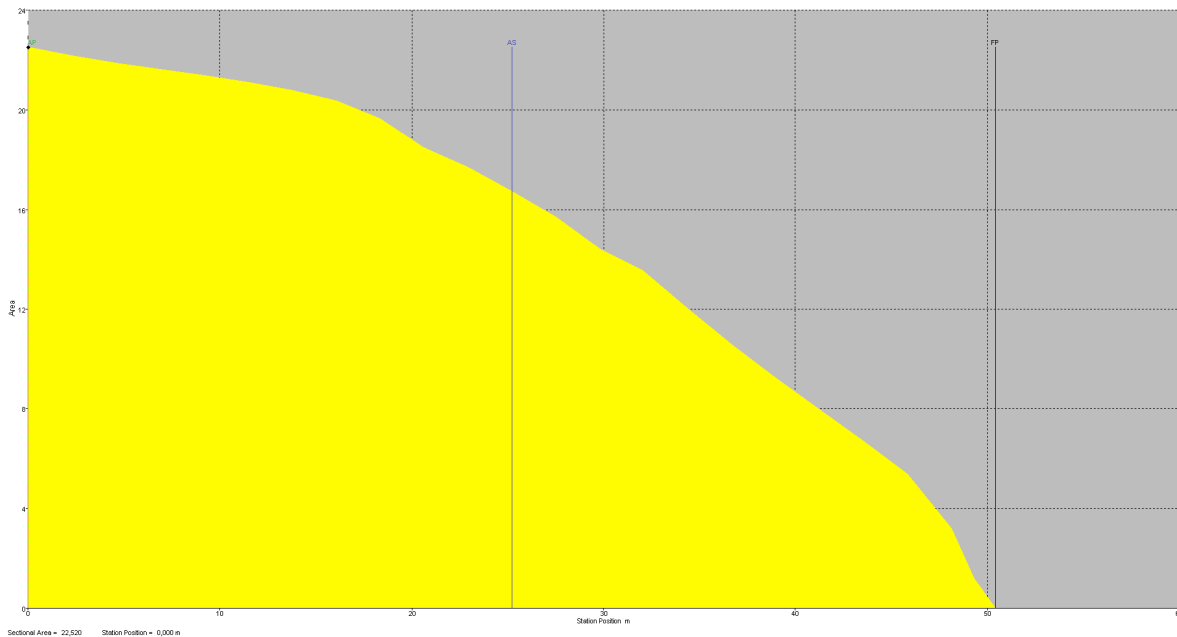


Figura 1. Curva de Áreas





### 3. Curvas hidrostáticas

Los cálculos hidrostáticos se obtienen mediante el módulo Hydromax de Maxsurf.

Hydromax proporciona un análisis rápido de la estabilidad, de forma gráfica e interactiva, de la estabilidad intacta y estabilidad por inundación para todo tipo de diseños de Maxsurf.

Una vez que los diseños han sido modelados utilizando Maxsurf, la estabilidad y características de resistencia pueden ser evaluados utilizando el módulo de análisis Hydromax. Hydromax proporciona al usuario una variedad de capacidades de análisis de gran alcance para manejar todo tipo de cálculos de estabilidad y resistencia. Esta serie de precisos cálculos se realiza directamente desde el modelo de superficie NURB.

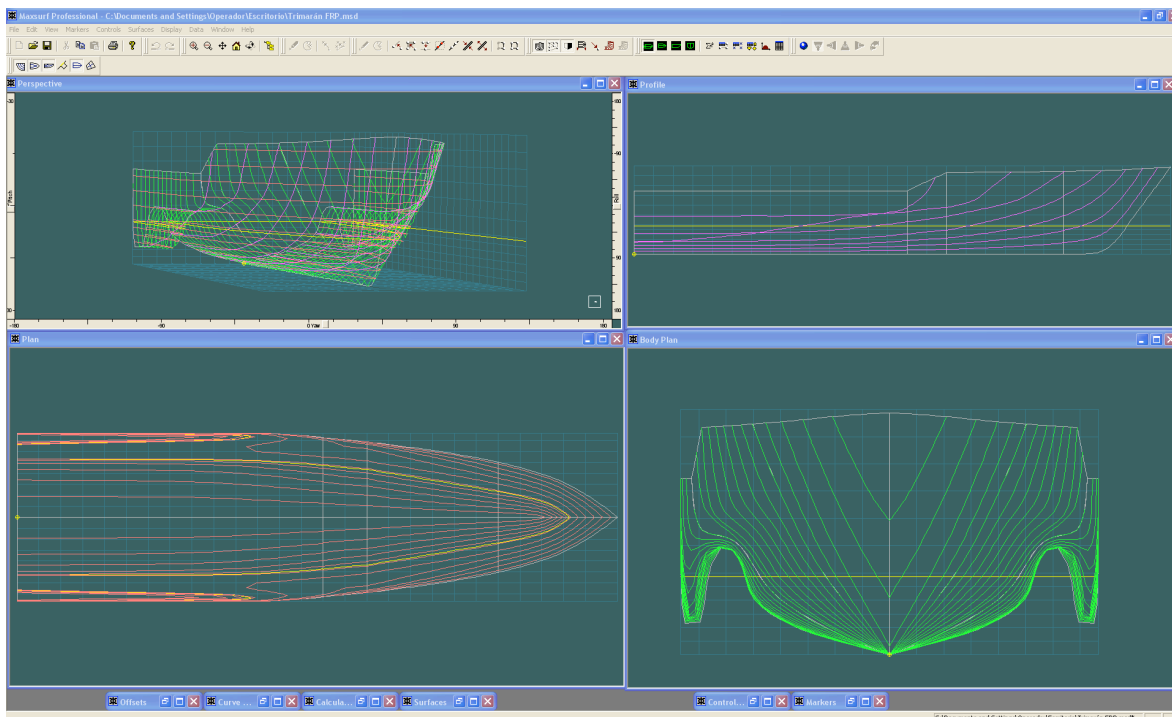


Figura 2. Interfaz de Maxsurf

A continuación se muestra la tabla de datos hidrostáticos obtenidos en un rango de calados desde 0 m a 4 m con un incremento de 0,25 m.

Proyecto Fin de Carrera

Análisis de Viabilidad de un Buque de Gran Eslora en Materiales Compuestos

**Capítulo 2. Cálculos de Arquitectura Naval**





Calado	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
Desplazamiento (tn)	0,00	8,27	32,92	72,90	126,40	191,80
Escora a estribor (grados)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Calado en Ppr (m)	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
Calado en Ppp (m)	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
Calado en LCF (m)	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
Trimado (m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eslora en la flotación (m)	41,62	47,84	48,35	48,70	49,00	49,26
Manga en la flotación (m)	0,00	1,92	3,82	5,50	6,79	15,07
Superficie mojada (m2)	0,00	69,88	138,73	202,28	259,17	315,17
Área en la flotación (m2)	0,00	64,56	127,16	183,73	232,57	278,97
Coeficiente prismático	0,03	0,67	0,67	0,66	0,67	0,66
Coeficiente de bloque	0,01	0,33	0,33	0,34	0,36	0,33
Coeficiente de la maestra	0,50	0,50	0,50	0,52	0,54	0,50
Coeficiente de la flotación	0,04	0,67	0,66	0,66	0,68	0,61
LCB desde maestra (+ a proa) (m)	2,61	-6,84	-6,85	-6,80	-6,69	-6,55
LCF desde maestra (+ a proa) (m)	2,04	-6,85	-6,84	-6,70	-6,39	-6,31
KB (m)	0,00	0,17	0,33	0,50	0,66	0,82
KG m	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
BMt (m)	0,00	1,81	3,46	4,63	5,24	6,56
BML (m)	0,00	1120,13	567,10	376,51	280,02	228,43
GMT (m)	-3,49	-1,51	0,30	1,63	2,41	3,89
GML m	0,00	1116,81	563,94	373,51	277,19	225,76
KMt m	0,00	1,98	3,79	5,12	5,90	7,38
KML m	0,00	1120,30	567,43	377,00	280,68	229,25
Curva de Inmersión (TPC) (tn/cm)	0,00	0,66	1,30	1,88	2,38	2,86
MTc (tn·m)	0,00	1,83	3,68	5,40	6,95	8,58

Tabla 1. Tabla de datos Curvas Hidrostáticas (de 0 a 1,25 m de calado)

Calado	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75
Desplazamiento (tn)	269,60	357,70	454,10	557,00	666,00	780,00
Escora a estribor (grados)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Calado en Ppr (m)	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75
Calado en Ppp (m)	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75
Calado en LCF (m)	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75
Trimado (m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eslora en la flotación (m)	49,49	49,72	49,92	50,10	50,27	50,44
Manga en la flotación (m)	15,14	15,21	15,26	15,28	15,29	15,31



Superficie mojada (m2)	381,30	442,25	500,24	556,24	610,04	664,39
Área en la flotación (m2)	325,73	361,03	390,51	414,43	433,99	451,69
Coeficiente prismático	0,65	0,65	0,65	0,66	0,66	0,67
Coeficiente de bloque	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44
Coeficiente de la maestra	0,53	0,56	0,58	0,61	0,63	0,65
Coeficiente de la flotación	0,64	0,65	0,67	0,69	0,70	0,72
LCB desde maestra (+ a proa) (m)	-6,49	-6,42	-6,32	-6,20	-6,07	-5,93
LCF desde maestra (+ a proa) (m)	-6,33	-6,10	-5,84	-5,54	-5,25	-4,99
KB (m)	0,98	1,14	1,30	1,45	1,60	1,75
KG m	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
BMT (m)	8,25	8,07	7,66	7,14	6,60	6,16
BML (m)	192,34	162,89	141,06	123,91	110,45	99,67
GMT (m)	5,74	5,72	5,47	5,10	4,71	4,42
GML m	189,83	160,54	138,87	121,87	108,56	97,93
KMt m	9,23	9,21	8,96	8,59	8,20	7,91
KML m	193,32	164,03	142,36	125,36	112,05	101,42
Curva de Inmersión (TPC) (tn/cm)	3,34	3,70	4,00	4,25	4,45	4,63
MTc (tn·m)	10,15	11,39	12,50	13,47	14,34	15,14

Tabla 2. Tabla de datos Curvas Hidrostáticas (de 1,50 a 2,75 m de calado)

<b>Calado</b>	<b>3,00</b>	<b>3,25</b>	<b>3,50</b>	<b>3,75</b>	<b>4,00</b>
Desplazamiento (tn)	898,00	1020,00	1146,00	1279,00	1421,00
Escora a estribor (grados)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Calado en Ppr (m)	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
Calado en Ppp (m)	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
Calado en LCF (m)	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
Trimado (m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eslora en la flotación (m)	50,61	50,79	50,96	51,14	51,32
Manga en la flotación (m)	15,31	15,32	15,33	15,33	15,34
Superficie mojada (m2)	718,20	772,07	828,94	890,27	967,74
Área en la flotación (m2)	467,96	484,42	504,00	531,52	579,74
Coeficiente prismático	0,68	0,68	0,69	0,69	0,70
Coeficiente de bloque	0,45	0,47	0,47	0,47	0,45
Coeficiente de la maestra	0,67	0,68	0,68	0,67	0,64
Coeficiente de la flotación	0,73	0,74	0,74	0,74	0,75
LCB desde maestra (+ a proa) (m)	-5,79	-5,66	-5,53	-5,42	-5,35
LCF desde maestra (+ a proa) (m)	-4,76	-4,59	-4,48	-4,53	-4,79
KB (m)	1,90	2,05	2,19	2,34	2,49
KG m	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49



BMt (m)	5,79	5,50	5,40	5,54	6,19
BML (m)	91,01	83,94	78,34	74,27	71,73
GMt (m)	4,20	4,06	4,10	4,39	5,19
GML m	89,42	82,49	77,05	73,12	70,74
KMt m	7,69	7,55	7,59	7,88	8,68
KML m	92,91	85,98	80,54	76,61	74,23
Curva de Inmersión (TPc) (tn/cm)	4,80	4,97	5,17	5,45	5,94
MTc (tn·m)	15,91	16,68	17,51	18,54	19,93

Tabla 3. Tabla de datos Curvas Hidrostáticas (de 3 a 4 m de calado)

Seguidamente se incluye la gráfica obtenida de Hydromax para las Curvas Hidrostáticas del Trimarán. Para su mejor estudio, se detallan en los siguientes subapartados los valores más significativos.

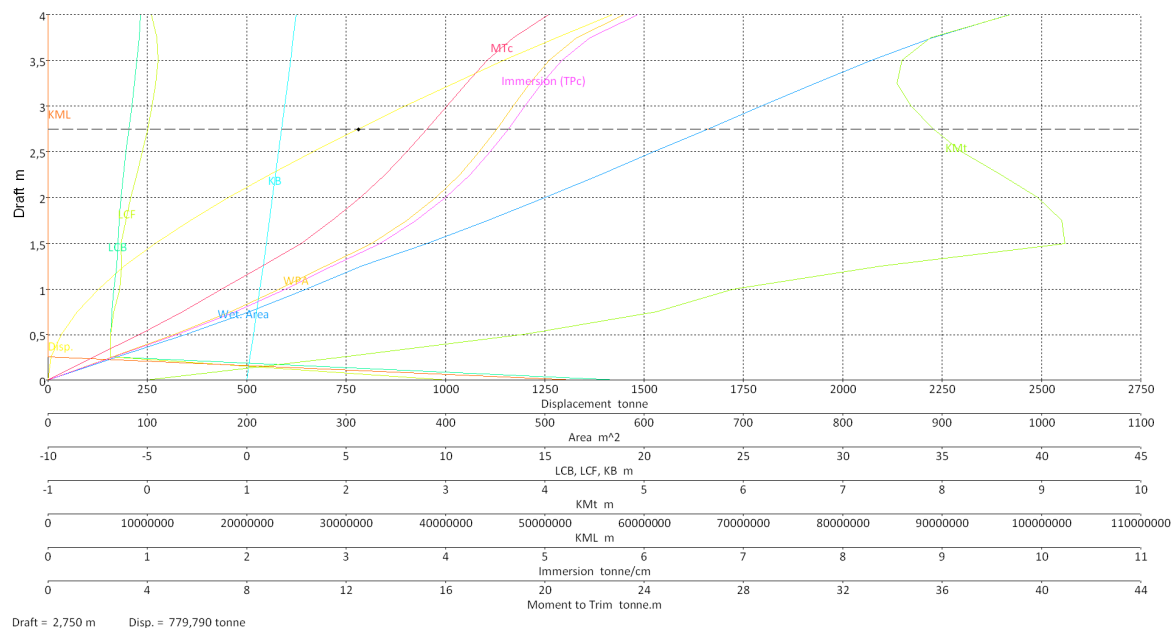


Figura 3. Curvas Hidrostáticas



### 3.1. Curva de desplazamientos

Esta curva representa el peso del buque para una condición de carga determinada, que es igual al volumen de carena por la densidad del agua del mar. Como densidad del agua del mar se toma 1,025 tn/m<sup>3</sup>.

Esta curva para uso marino tiene el espesor del forro incluido, así como el volumen de los apéndices.

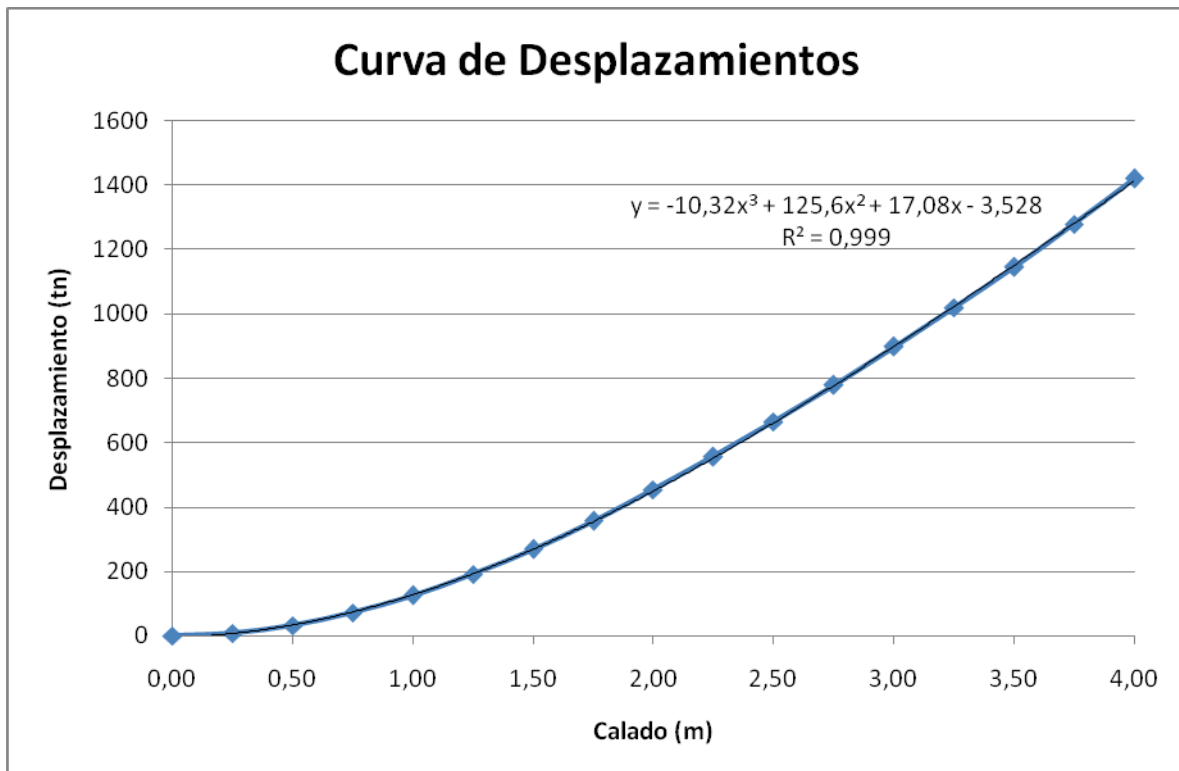


Figura 4. Curva de Desplazamientos



### 3.2. Curva de superficie mojada

Esta curva representa el área del forro exterior incluidos los apéndices en función del calado.

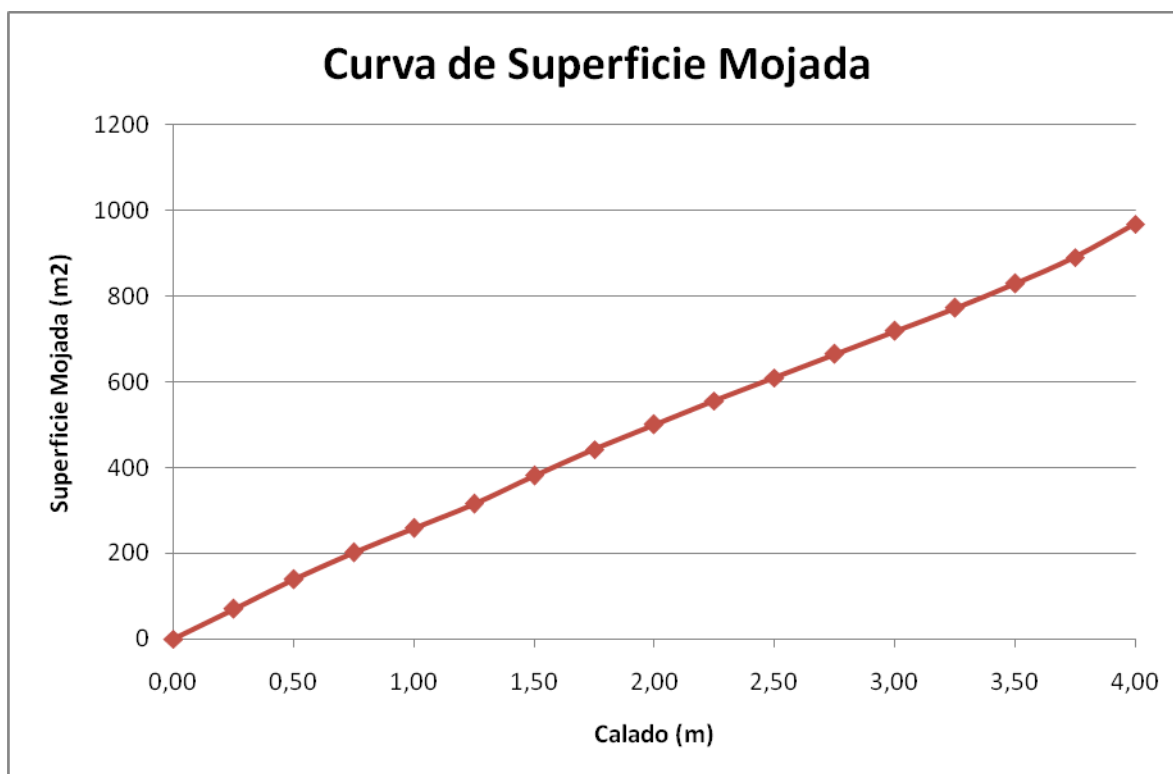


Figura 5. Curva de Superficie Mojada



### 3.3. Curva de áreas de flotación

Esta curva representa las áreas de las distintas flotaciones en función del calado.

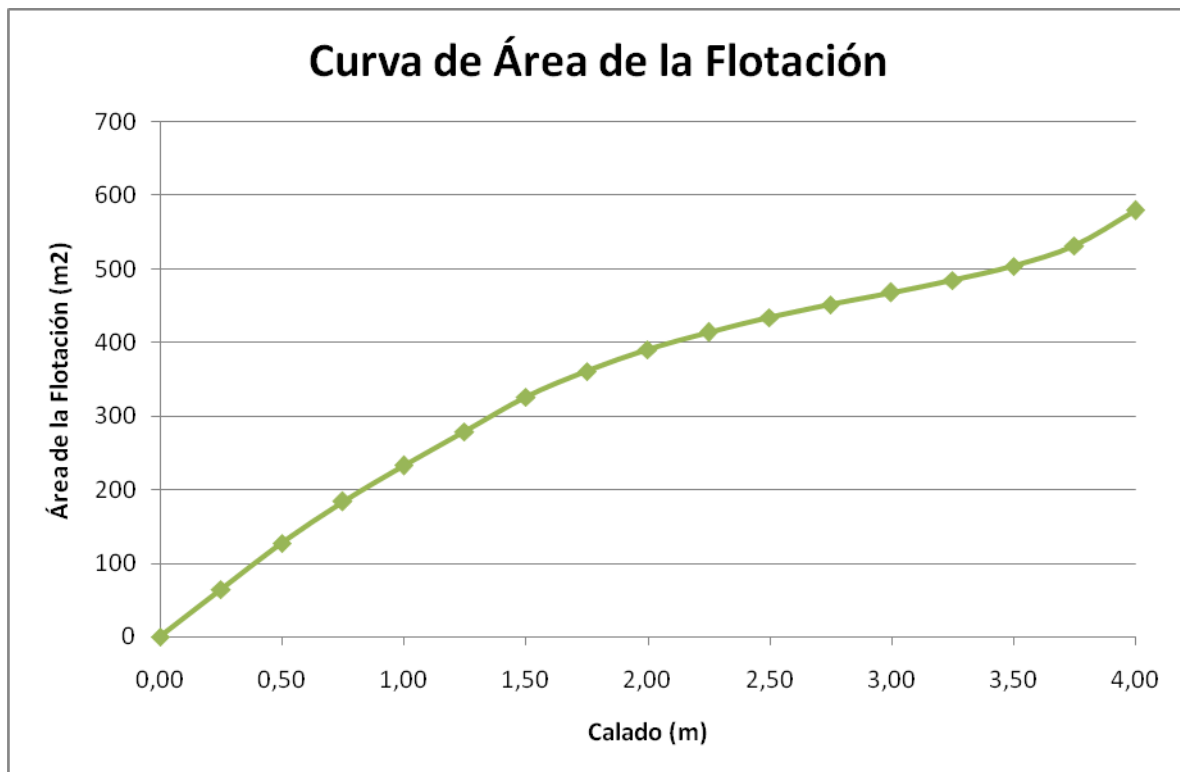


Figura 6. Curva de Área de la Flotación





### 3.4. Curva de coeficientes hidrodinámicos

Esta curva representa el valor de los cuatro coeficientes adimensionales del buque en función del calado.

El coeficiente de bloque es la relación adimensional que se establece entre el volumen desplazado por el buque o volumen de carena y el prisma rectangular que tiene por dimensiones la eslora, la manga y el calado hasta la flotación considerada.

El coeficiente de la flotación es la relación adimensional entre el área de la flotación y la de un rectángulo que tenga por medidas su eslora y su manga.

El coeficiente de la maestra es la relación adimensional entre el área de la cuaderna maestra hasta una flotación y el área de un rectángulo cuyas dimensiones son el calado y la manga.

El coeficiente prismático es la relación adimensional entre el volumen sumergido del buque y el de un prisma de sección transversal constante e igual al área de la cuaderna maestra hasta la flotación que tiene por longitud la eslora.

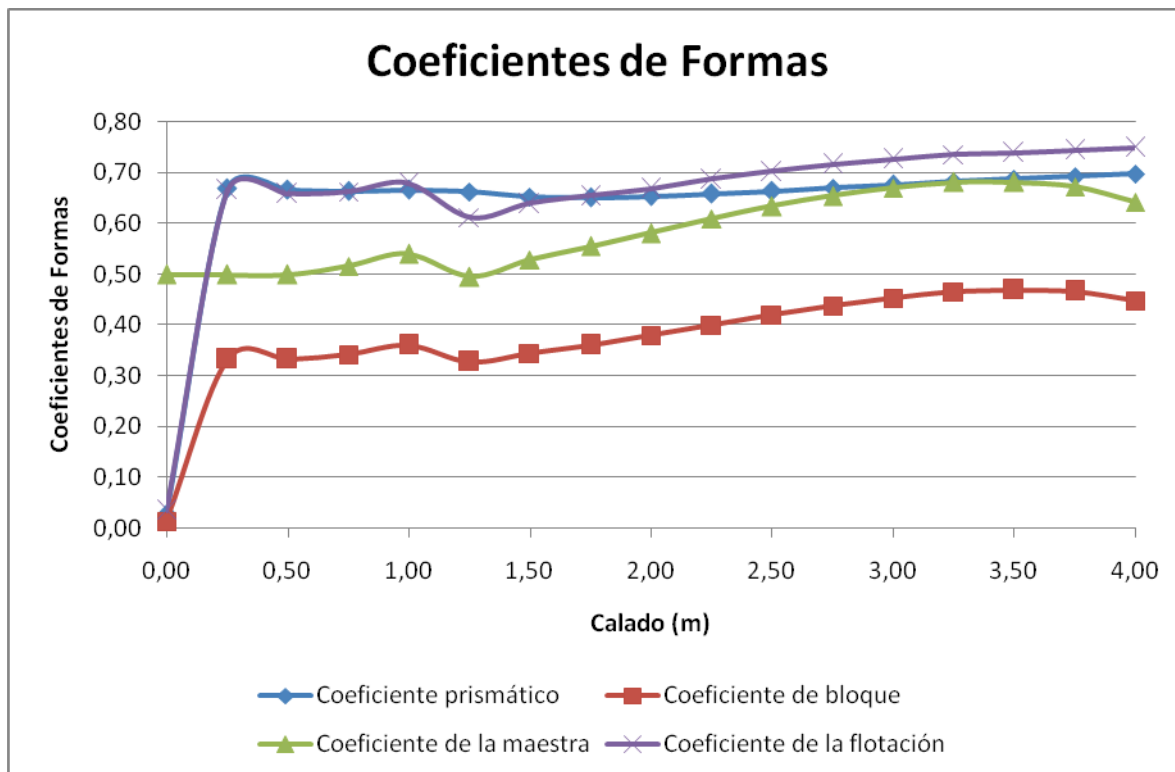


Figura 7. Curva de coeficientes hidrodinámicos



### 3.5. Curva de centros de carena y flotación

Estas curvas representan la posición longitudinal del centro de carena del volumen sumergido y el centro de la flotación en función del calado.

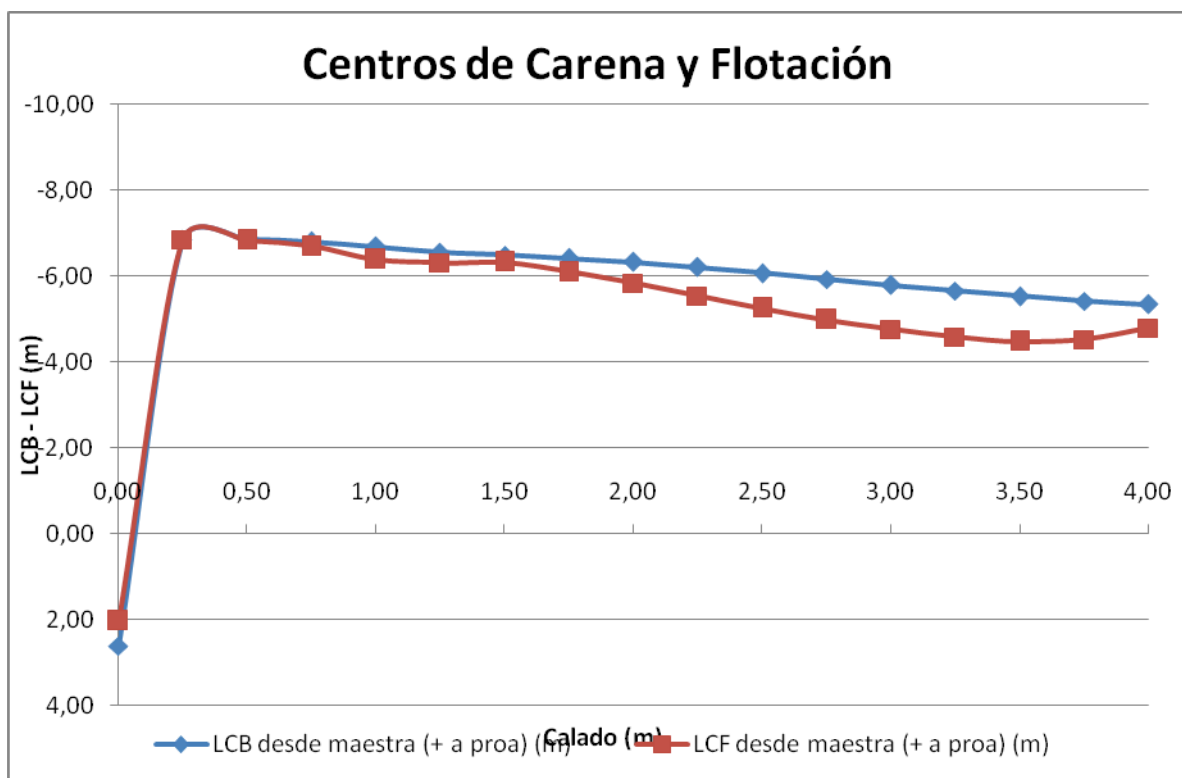


Figura 8. Centros de Carena y Flotación



### 3.6. Curva de posición vertical del centro de carena

Esta curva representa la posición vertical del centro de carena del volumen sumergido en función del calado.

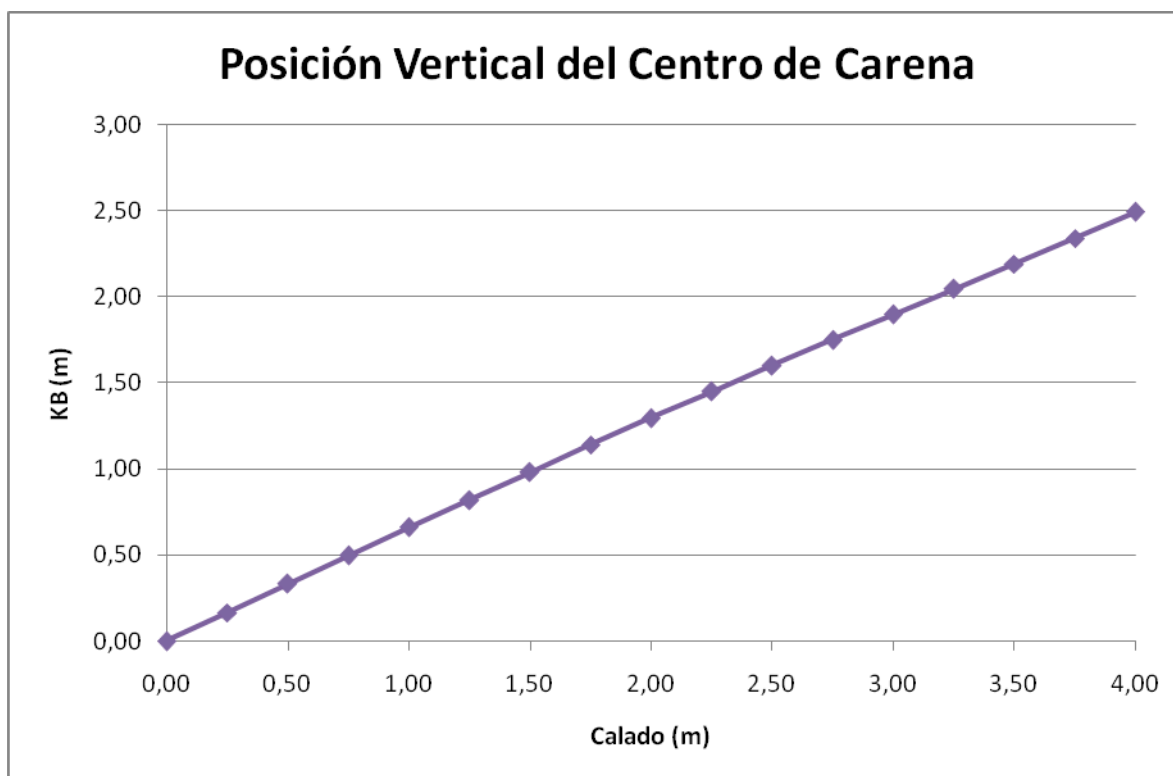


Figura 9. Curva de Posición Vertical del Centro de Carena



### 3.7. Curva del metacentro transversal

Esta curva representa el radio metacéntrico transversal ( $BM_t$ ) en función del calado.

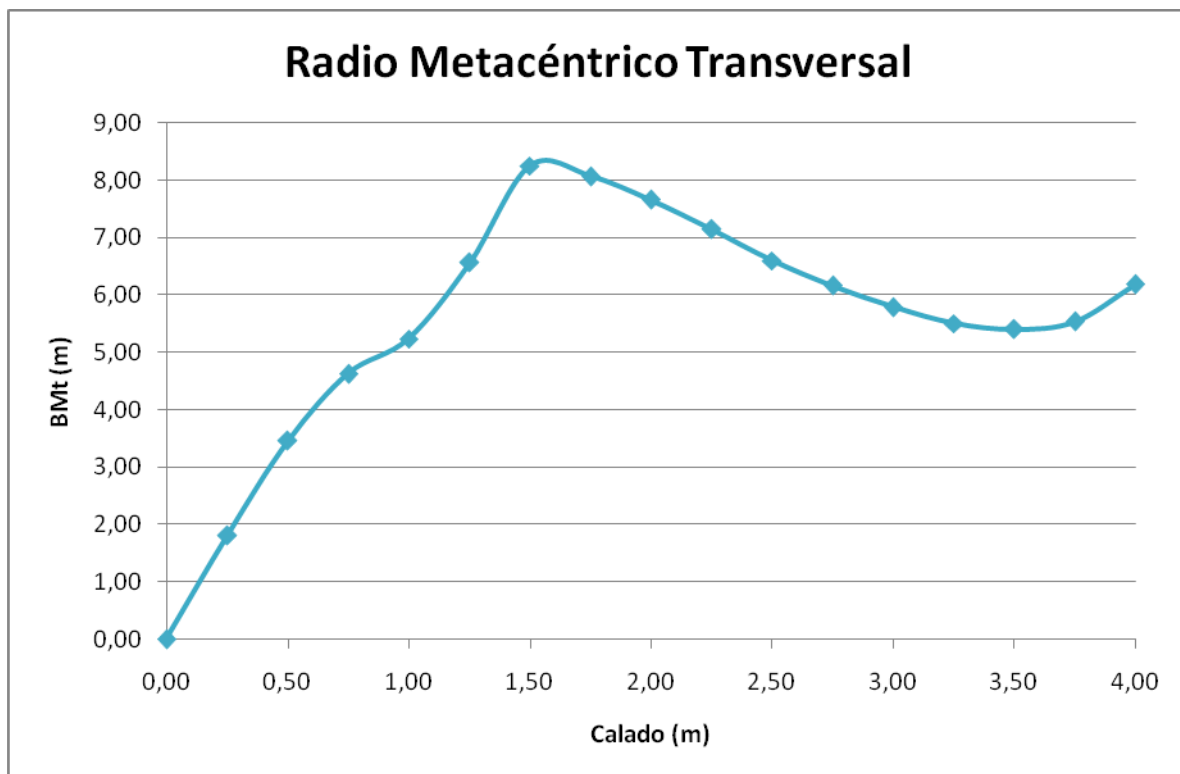


Figura 10. Curva del Radio Metacéntrico Transversal



### 3.8. Curva del metacentro longitudinal

Esta curva representa el radio metacéntrico longitudinal ( $BM_l$ ) en función del calado.

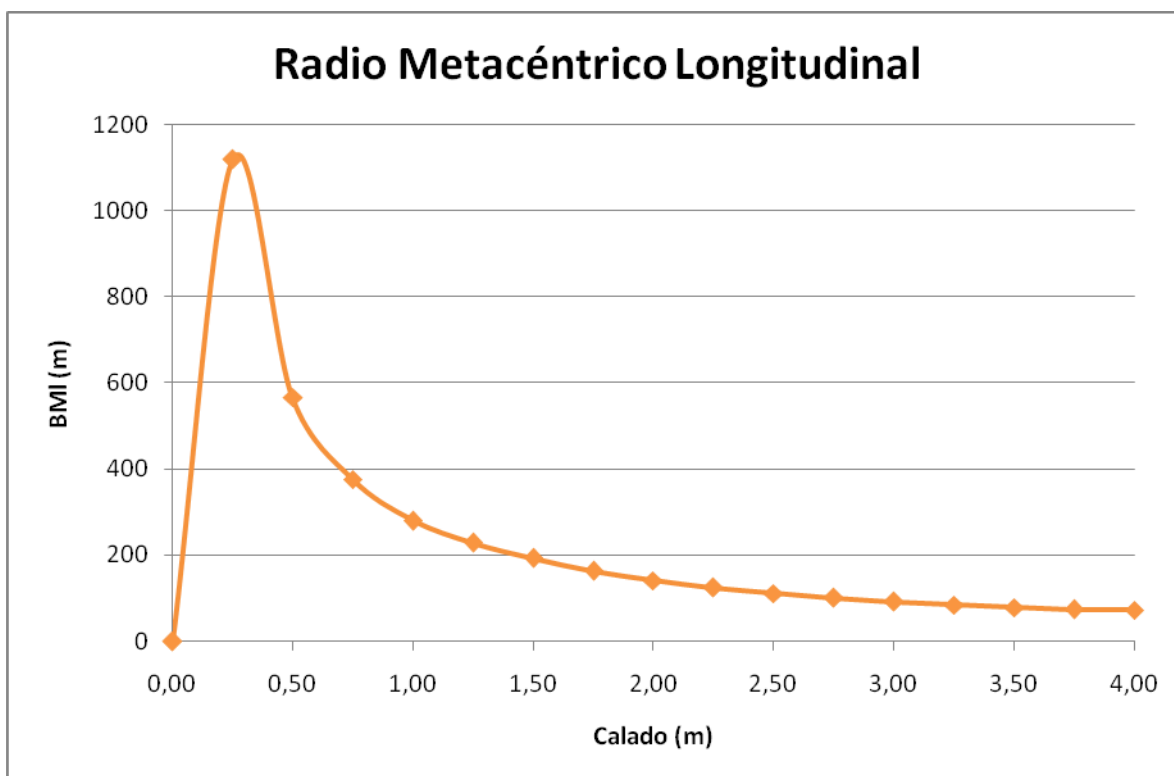


Figura 11. Curva del Radio Metacéntrico Longitudinal



### 3.9. Curva de Toneladas por Centímetro de Inmersión ( $T_c$ )

Esta curva representa las toneladas por centímetro de inmersión ( $T_c$ ) en función del calado. Las toneladas por centímetro de inmersión es el número de toneladas a cargar o descargar en la vertical del centro de flotación para que el calado medio aumente o disminuya paralelamente un centímetro.

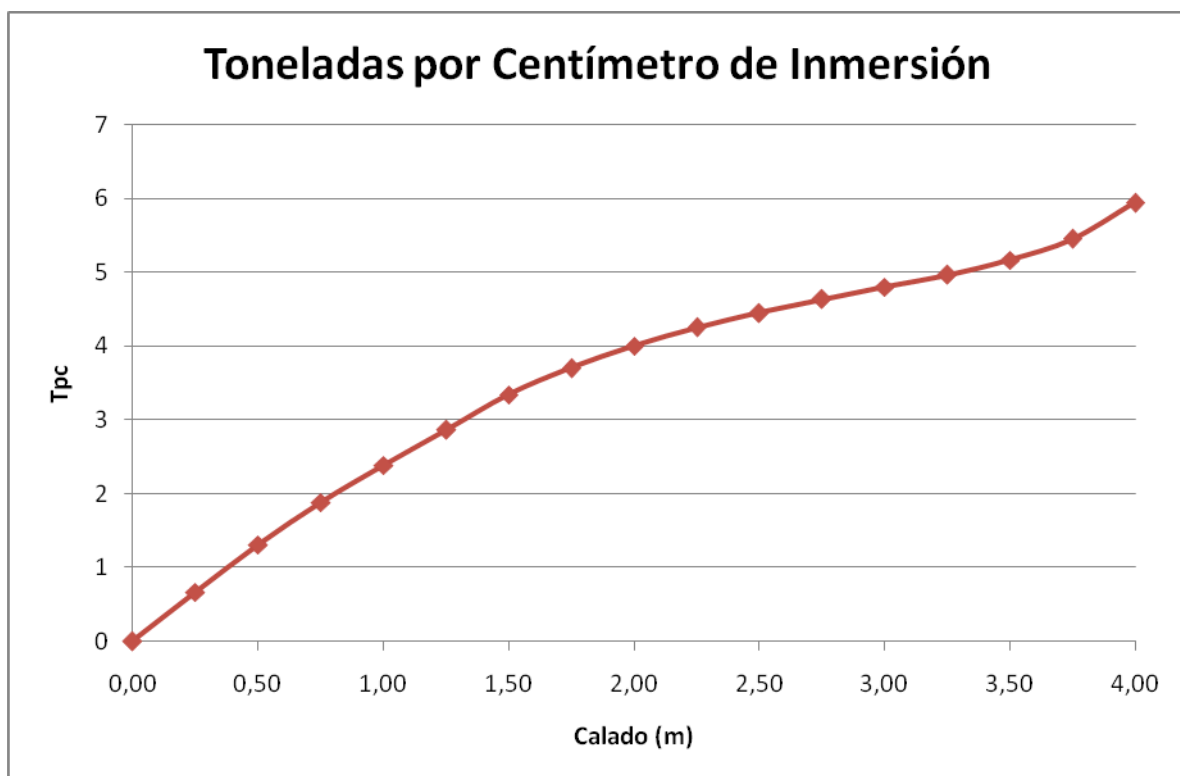


Figura 12. Curva de Toneladas por Centímetro de Inmersión



### 3.10. Curva de momento de trimado ( $M_{TC}$ )

Esta curva representa el momento unitario para variar el asiento un centímetro.

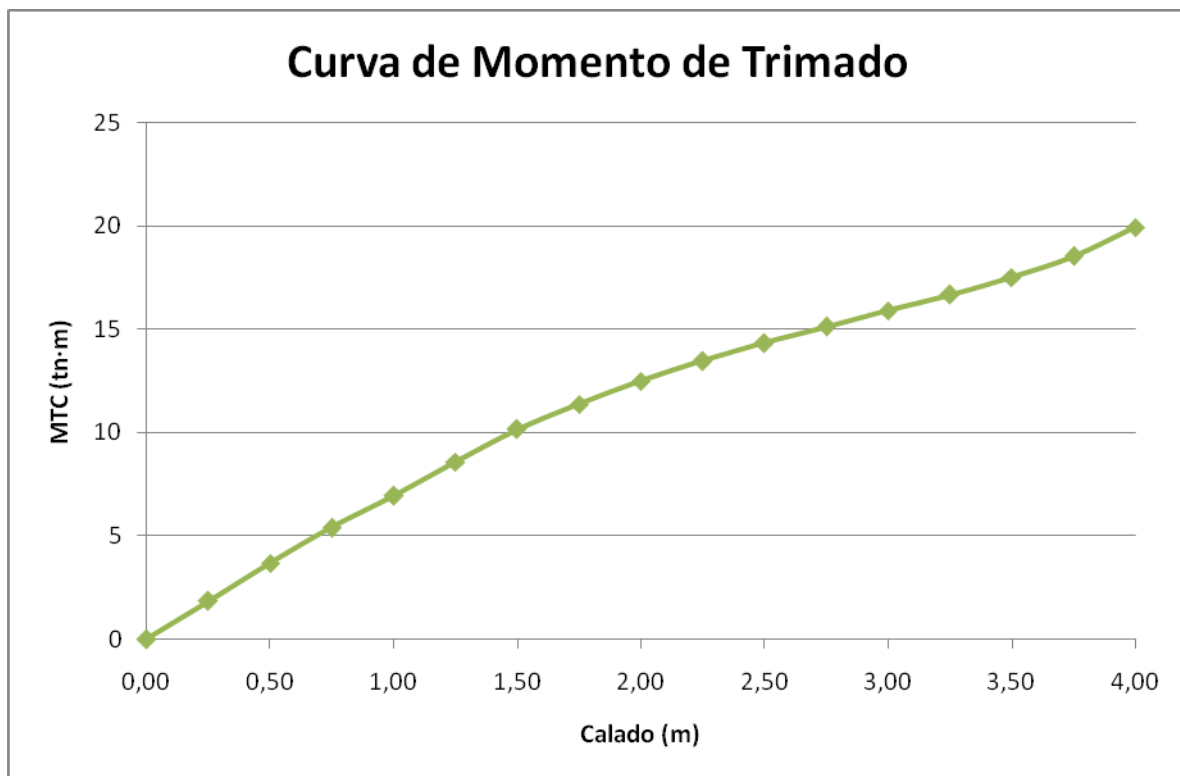


Figura 13. Curva del Momento de Trimado





## 4. Curvas KN

Las curvas KN o curvas de brazos son aquellas que facilitan el cálculo de los brazos adrizantes. Dichas curvas KN para distintos ángulos de escora nos indican si el buque representa suficiente estabilidad o por el contrario nos encontramos ante una situación adversa de insuficiente estabilidad.

A continuación se indican las curvas KN entre 0º y 50º de escora en función del desplazamiento del buque.

Desplazamiento	KN 0	KN 10	KN 20	KN 30	KN 40	KN 50
100	0,000	1,325	2,962	4,555	5,912	6,877
200	0,000	1,408	2,750	4,084	5,505	6,579
300	0,000	1,431	2,683	3,954	5,300	6,300
400	0,000	1,428	2,655	3,925	5,169	6,067
500	0,000	1,414	2,652	3,914	5,064	5,865
600	0,000	1,399	2,676	3,905	4,971	5,685
700	0,000	1,388	2,694	3,898	4,883	5,524
800	0,000	1,376	2,704	3,891	4,798	5,378
900	0,000	1,375	2,710	3,881	4,716	5,248

Tabla 4. Tabla de datos Curvas KN

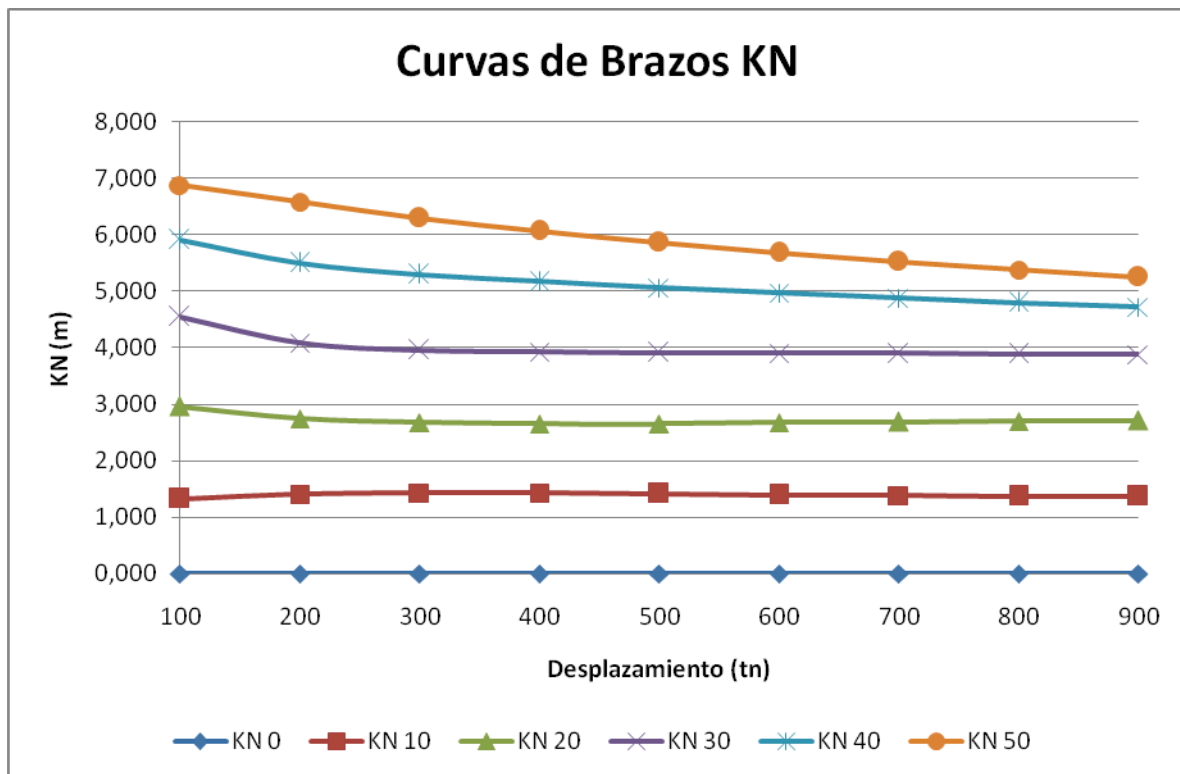


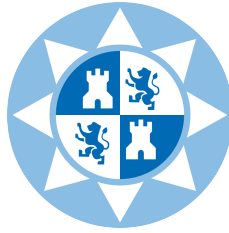
Figura 14. Curva de Brazos KN



## 5. Bibliografía

### Escrita

- Proyecto nº 1664 “Trimarán de pasaje en aluminio”. J.P. ORTEGA y R. PÉREZ. ETSIN, Universidad Politécnica de Madrid.
- Apuntes de “Hidrostática y Estabilidad”, O. PALOMO. Universidad Politécnica de Cartagena
- “Teoría del buque. Estabilidad, varada e inundación”. J. OLIVELLA. Universidad Politécnica de Barcelona
- “El proyecto básico del buque mercante”. R. ALVARIÑO, J.J. AZPÍROZ, M. MEIZOSO. F.E.I.N.



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**  
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

**Proyecto Fin de Carrera**  
**ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE UN**  
**BUQUE DE GRAN ESLORA EN**  
**MATERIALES COMPUESTOS**

**CAPÍTULO 3**  
**Cálculo Estructural**

**JOSÉ LUIS SÁEZ HERNÁNDEZ**



- ESTA PÁGINA HA SIDO INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO -



## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>9</b>
1.1. Proceso de cálculo estructural	10
1.2. Configuración de la estructura	10
1.3. Superficies límites y espaciado de elementos estructurales	11
1.4. Forma y estructura de los mamparos y cubiertas	11
<b>2. Proceso de cálculo</b>	<b>13</b>
<b>3. Datos de partida</b>	<b>14</b>
<b>4. Materiales Compuestos</b>	<b>15</b>
4.1. Generalidades	15
4.2. Resina	17
4.3. Fibras de vidrio	17
4.4. Núcleos	19
<b>5. Propiedades generales de los componentes laminados</b>	<b>22</b>
<b>6. Principios estructurales del diseño</b>	<b>25</b>
6.1. Introducción	25
6.2. Cálculos estructurales	25
6.2.1. Principios de diseño	25
6.2.2. Niveles de cálculo	26
6.2.3. Escantillonado	26
6.2.3.1. Conceptos generales sobre el escantillonado	26
6.2.3.2. Condiciones de cargas	27
6.2.3.3. Resistencia general del buque	28
6.2.3.4. Resistencia a slamming	28
6.3. Estructura de fondo	28
6.3.1. Refuerzos longitudinales	28
6.3.2. Bulárcamas y cuadernas	29
6.3.3. Vagras y esloras	29
6.3.4. Refuerzos de cámara de máquinas	30



<b>6.4. Estructura de costado .....</b>	<b>30</b>
<b>6.4.1. Refuerzos de costado .....</b>	<b>30</b>
<b>6.5. Estructura de cubierta .....</b>	<b>30</b>
<b>6.5.1. Refuerzos longitudinales .....</b>	<b>30</b>
<b>6.5.2. Amuradas .....</b>	<b>30</b>
<b>6.6. Mamparos .....</b>	<b>31</b>
<b>6.6.1. Mamparos estancos .....</b>	<b>31</b>
<b>6.6.2. Posición del mamparo de colisión .....</b>	<b>31</b>
<b>6.7. Superestructura .....</b>	<b>32</b>
<b>7. Aceleraciones de la estructura .....</b>	<b>33</b>
<b>7.1. Aceleraciones verticales .....</b>	<b>33</b>
<b>7.1.1. Aceleración vertical de diseño .....</b>	<b>33</b>
<b>7.1.2. Aceleración vertical en las secciones .....</b>	<b>34</b>
<b>7.1.3. Reducción sobre la Aceleración Vertical de Diseño en función de la velocidad permitida .....</b>	<b>35</b>
<b>7.2. Aceleraciones horizontales.....</b>	<b>36</b>
<b>7.2.1. Aceleración longitudinal (surge) .....</b>	<b>36</b>
<b>7.2.2. Aceleración transversal (roll).....</b>	<b>37</b>
<b>8. Cálculos de presiones y cargas .....</b>	<b>38</b>
<b>8.1. Slamming.....</b>	<b>38</b>
<b>8.1.1. Presión debida a slamming sobre el fondo .....</b>	<b>38</b>
<b>8.1.2. Presión debida a slamming en la proa .....</b>	<b>40</b>
<b>8.1.3. Presión debida a slamming en túneles .....</b>	<b>41</b>
<b>8.2. Presión del mar .....</b>	<b>43</b>
<b>8.2.1. Presión sobre fondo, costados y cubiertas.....</b>	<b>43</b>
<b>8.2.2. Presión del mar en los mamparos frontales y laterales de la superestructura ...</b>	<b>44</b>
<b>9. Cálculos de Resistencia General .....</b>	<b>46</b>
<b>9.1. Momentos flectores longitudinales, fuerzas cortantes y cargas axiales .....</b>	<b>46</b>
<b>9.1.1. Área de referencia.....</b>	<b>46</b>
<b>9.1.2. Momento flector dinámico por slamming en quebranto (<i>crest landing</i>) .....</b>	<b>47</b>



<b>9.1.3. Momento flector dinámico por slamming en arrufo (<i>hollow landing</i>)</b>	<b>48</b>
<b>9.1.4. Momentos flectores inducidos por las olas</b>	<b>48</b>
<b>9.1.5. Fuerzas cortantes</b>	<b>49</b>
<b>9.1.6. Cargas axiales</b>	<b>50</b>
<b>9.2. Momentos flectores transversales, fuerzas cortantes y torsión</b>	<b>50</b>
<b>9.2.1. Momento flector transversal</b>	<b>50</b>
<b>9.2.2. Fuerza cortante transversal</b>	<b>52</b>
<b>9.2.3. Momento de torsión en el eje transversal</b>	<b>52</b>
<b>9.2.4. Momento de torsión en el eje longitudinal</b>	<b>53</b>
<b>9.3. Combinación de cargas</b>	<b>53</b>
<b>10. Escantillonado del Buque</b>	<b>55</b>
<b>10.1. Criterios de verificación</b>	<b>55</b>
<b>10.1.1. Paneles Sándwich</b>	<b>56</b>
10.1.1.1. <i>Contenido en fibra por volumen</i>	56
10.1.1.2. <i>Propiedades del material núcleo</i>	56
10.1.1.3. <i>Cantidad de refuerzos por unidad de área</i>	56
10.1.1.4. <i>Tensiones a flexión, cortantes y deformación</i>	57
10.1.1.5. <i>Pandeo</i>	59
10.1.1.6. <i>Flechas</i>	59
10.1.1.7. <i>Esfuerzos y flechas permitidas</i>	60
<b>10.1.2. Laminado monolítico</b>	<b>61</b>
10.1.2.1. <i>Contenido en fibra por volumen</i>	61
10.1.2.2. <i>Espesor mínimo requerido para paneles monolíticos</i>	61
10.1.2.3. <i>Cargas laterales sobre laminados monolíticos</i>	62
<b>10.1.3. Refuerzos</b>	<b>64</b>
<b>10.2. Casco central</b>	<b>65</b>
<b>10.2.1. Forro</b>	<b>65</b>
<b>10.2.2. Refuerzos longitudinales</b>	<b>65</b>
10.2.2.1. <i>Longitudinales de fondo y costado</i>	65
10.2.2.2. <i>Vagra central</i>	66





<b>10.2.3. Refuerzos transversales.....</b>	<b>67</b>
10.2.3.1. Cuadernas y varengas .....	67
<b>10.3. Cascos laterales.....</b>	<b>68</b>
<b>10.3.1. Forro .....</b>	<b>68</b>
<b>10.3.2. Refuerzos longitudinales .....</b>	<b>68</b>
10.3.2.1. Longitudinales de costado .....	68
<b>10.3.3. Refuerzos transversales.....</b>	<b>69</b>
10.3.3.1. Cuadernas.....	69
<b>10.4. Cubierta casino .....</b>	<b>69</b>
<b>10.4.1. Planchas de cubierta .....</b>	<b>69</b>
<b>10.4.2. Refuerzos longitudinales .....</b>	<b>70</b>
10.4.2.1. Longitudinales de cubierta.....	70
10.4.2.2. Esloras de cubierta .....	71
<b>10.4.3. Refuerzos transversales.....</b>	<b>71</b>
10.4.3.1. Baos .....	71
<b>10.5. Cubierta pasaje .....</b>	<b>72</b>
<b>10.5.1. Planchas de cubierta .....</b>	<b>72</b>
<b>10.5.2. Refuerzos longitudinales .....</b>	<b>73</b>
10.5.2.1. Longitudinales de cubierta.....	73
10.5.2.2. Esloras de cubierta .....	73
<b>10.5.3. Refuerzos transversales.....</b>	<b>74</b>
10.5.3.1. Baos .....	74
<b>10.6. Cubierta puente .....</b>	<b>75</b>
<b>10.6.1. Planchas de cubierta .....</b>	<b>75</b>
<b>10.6.2. Refuerzos longitudinales .....</b>	<b>76</b>
10.6.2.1. Longitudinales de cubierta.....	76
10.6.2.2. Esloras de cubierta .....	76
<b>10.6.3. Refuerzos transversales.....</b>	<b>77</b>
10.6.3.1. Baos .....	77
<b>10.7. Superestructura .....</b>	<b>77</b>



<b>10.7.1. Mamparos</b>	<b>78</b>
<b>10.7.2. Refuerzos longitudinales</b>	<b>78</b>
10.7.2.1. Longitudinales	78
<b>10.7.3. Refuerzos transversales</b>	<b>79</b>
10.7.3.1. Cuadernas	79
<b>10.8. Puente</b>	<b>80</b>
<b>10.8.1. Mamparos</b>	<b>80</b>
<b>10.8.2. Refuerzos longitudinales</b>	<b>81</b>
10.8.2.1. Longitudinales	81
<b>10.8.3. Refuerzos transversales</b>	<b>81</b>
10.8.3.1. Cuadernas	81
<b>10.9. Mamparos</b>	<b>82</b>
<b>10.9.1. Planchas</b>	<b>82</b>
<b>10.9.2. Refuerzos longitudinales</b>	<b>83</b>
10.9.2.1. Longitudinales	83
<b>11. Cuaderna Maestra</b>	<b>84</b>
<b>12. Comprobación del módulo resistente de la cuaderna maestra</b>	<b>85</b>
<b>13. Bibliografía</b>	<b>88</b>



## Tablas

Tabla 1. Datos de partida del buque para el diseño estructural	14
Tabla 2. Propiedades de Fibras y Resina	22
Tabla 3. Propiedades de Fibras y Resinas	22
Tabla 4. Contenidos en fibra	23
Tabla 5. Módulos Young MAT	23
Tabla 6. Módulos Young ROVING	24
Tabla 7. Módulos Young UD	24
Tabla 8. Aceleración vertical en las secciones	35
Tabla 9. Presión por slamming en el fondo (Planchas)	39
Tabla 10. Presión por slamming en el fondo (Refuerzos Longitudinales)	39
Tabla 11. Presión por slamming en el fondo (Refuerzos Transversales)	39
Tabla 12. Presión por slamming en la proa	41
Tabla 13. Presión por slamming en la zona de túneles	42
Tabla 14. Presión del mar sobre fondo, costados y cubiertas (bajo flotación)	44
Tabla 15. Presión del mar sobre fondo, costados y cubiertas (bajo flotación)	44
Tabla 16. Presión del mar sobre los mamparos frontales y laterales de la superestructura	45
Tabla 17. Combinación 80% MF y FC + 60% Torsión	54
Tabla 18. Combinación 60% MF y FC + 80% Torsión	54
Tabla 19. Requisitos mínimos para material núcleo	56
Tabla 20. Requisitos mínimos de cantidad de refuerzo	57
Tabla 21. Esfuerzos y deformaciones permitidas	61
Tabla 22. Cantidad mínima de reforzado en paneles monolíticos	62
Tabla 23. Comprobación del módulo de la cuaderna maestra	87

## Figuras

Figura 1. Trimarán "USS Independence"	16
Figura 2. Fibra de vidrio tipo MAT	18
Figura 3. Fibra de vidrio tipo ROVING	19
Figura 4. Fibra de vidrio tipo Unidireccional	19
Figura 5. Comparativa entre laminado monolítico y sándwich.	20
Figura 6. Paneles Sandwich de Fibra de Vidrio y Núcleo PVC	21
Figura 7. Conexión entre longitudinales y cuadernas	29
Figura 8. Crest landing	47
Figura 9. Hollow landing	48
Figura 10. Distancia transversal a casco lateral	52
Figura 11. Momentos de torsión longitudinales y transversales	53
Figura 12. Coeficientes de formas $C_1$ , $C_2$ y $C_3$ paneles sándwich	58
Figura 13. Coeficientes de formas $C_4$ y $C_5$ paneles sándwich	59
Figura 14. Coeficientes de formas $C_6$ , $C_7$ y $C_8$ paneles sándwich	60
Figura 15. Coeficientes de formas $C_1$ para laminado monolítico	63
Figura 16. Coeficientes de formas $C_3$ para laminado monolítico	64
Figura 17. Refuerzo tipo	66



## **1. Introducción**

En el Capítulo 3 de Cálculo Estructural se procede al diseño preliminar del barco para determinar la situación, espaciado y escantillonado de los elementos estructurales principales que suministren la adecuada resistencia y seguridad con el menor peso posible, que es la cifra de mérito elegida.

El objetivo de la fase de diseño de la estructura es la determinación de su forma, la elección de los materiales y el dimensionamiento de sus elementos para satisfacer los criterios de diseño exigidos por la Sociedad de Clasificación “Det Norske Veritas” (DNV).

El diseño de la estructura se ha realizado en varias fases, realizando entre ellas un proceso de cálculo iterativo que va teniendo en cuenta los distintos resultados en función del avance del diseño.

El diseño estructural se inició definiendo las características generales de la estructura del Trimarán mediante la selección de la tipología y de los materiales de la estructura, en lo que podemos definir como diseño conceptual.

A partir de la solución inicial, se ha procedido a una fase de optimización de la estructura y sus distintos elementos de manera que cumplan las condiciones de diseño correspondientes. El diseño conceptual es una fase de carácter iterativo donde a los procesos de síntesis, donde se determinan los escantillones y características de los elementos estructurales, le siguen otros de análisis, donde se obtiene la respuesta de la estructura y se verifica la seguridad y adecuación de la misma. Estos procesos de análisis y síntesis constituyen los objetivos fundamentales de la teoría de estructuras.

El proceso de análisis de la estructura se ha realizado en tres fases:

- Análisis de las cargas o acciones que influyen sobre la estructura.
- Análisis de la respuesta de la estructura a las cargas anteriores.



- Análisis de los resultados de la respuesta de la estructura para determinar la seguridad de la misma.

A las fases de diseño conceptual y diseño optimizado indicadas le seguiría la fase de diseño de detalle donde se definen completamente todos los elementos de detalle de tipo constructivo, la cual no ha sido realizada al no ser necesaria de cara al objetivo del Proyecto.

### **1.1. Proceso de cálculo estructural**

Para el cálculo estructural del Trimarán en materiales compuestos se ha seguido el proceso de diseño que a continuación se describe:

1. Cálculo de las cargas ambientales mediante el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” de la Sociedad de Clasificación DNV.
2. Cálculo de los efectos de la carga y sus valores límite en toda la estructura.
3. Selección de los márgenes mínimos entre los efectos de la carga y sus valores límite con un grado de seguridad adecuado.
4. Elección como cifra de mérito de la estructura la minimización del peso en rosca.

### **1.2. Configuración de la estructura**

La configuración estructural presentada viene condicionada por la disposición general del Proyecto de Referencia “Trimarán 50 en Aluminio”. Las formas del buque y la disposición de los elementos principales del mismo han sido totalmente respetado, así la posición de los mamparos del pique de proa o la cámara de máquinas se hayan en las cuadernas constructivas más próximas en función del espaciado entre ellas (1 m).



Se ha diseñado una estructura de tipo transversal constituida por un conjunto de vigas tales como cuadernas, varengas, baos o esloras dispuestas en forma de anillo. Estas vigas primarias soportan otra serie de refuerzos secundarios como son los longitudinales de fondo o de cubierta que transmite la carga a la estructura primaria.

Se ha procurado unificar en la medida de lo posible los elementos estructurales y mantener su continuidad para facilitar la transmisión y el reparto de cargas. Así, se han usado dimensiones idénticas en distintos tipos de refuerzos y se ha respetado el orden de laminado mediante distintas capas de fibra de vidrio.

### **1.3. Superficies límites y espaciado de elementos estructurales**

El espaciado de los elementos se ha realizado principalmente buscando la optimización del peso de la estructura sin descuidar el condicionamiento geométrico impuesto por la posición de los mamparos transversales.

Las superficies límites tenidas en cuenta han sido:

- En sentido transversal los mamparos transversales de pique de proa, cámara de máquinas y el forro del casco.
- En sentido longitudinal los mamparos longitudinales y el forro de los cascos.
- En sentido vertical las cubiertas y el forro del casco.

### **1.4. Forma y estructura de los mamparos y cubiertas**

Las superficies de las cubiertas son planas y horizontales, es decir, sin brucas ni arrufos, excepto la cubierta de intemperie (cubierta pasaje o superior). Se optará por la solución más económica desde el punto de vista constructivo mediante brucas de tipo trapezoidal y arrufos de tipo poligonal. De esta manera, la cubierta está siempre formada por un conjunto de superficies planas.



Las superficies de los mamparos transversales son planas, verticales y con refuerzos verticales por una única cara, procurando coincida con el interior de los tanques.



## **2. Proceso de cálculo**

La particularidad de un Trimarán exige un especial esfuerzo en la tarea de cálculo estructural debido los escasos criterios de carga existentes y por la importancia crítica del peso de cara a la consecución de los objetivos de buque rápido y ligero.

El proceso de cálculo seguido ha sido el siguiente:

1. Se establecen los datos necesarios que sirven de base para el cálculo estructural.
2. Se establece como material de construcción los materiales compuestos, según requerimiento del Proyecto.
3. Se determinan las cargas locales en los diversos elementos de la estructura. Para ello se calculan las aceleraciones en las distintas zonas del buque y se determinan las presiones a las que se verán sometidas.
4. Se calculan las leyes de momentos flectores y fuerzas cortantes en aguas tranquilas y debidos a las olas según el reglamento del DNV. Una vez determinada la estructura deberán calcularse los valores reales para las distintas condiciones de carga.
5. Se determina el esquema de la estructura teniendo en cuenta los requisitos de espacio y analizando cual es el tipo de estructura que mejor se adapta a las necesidades del proyecto.
6. Se calculan las características mecánicas del laminado y se dimensionan los distintos elementos estructurales verificando el cumplimiento de los criterios establecidos en el reglamento del DNV.
7. Se calcula el módulo mínimo de la cuaderna maestra y se comprueba que no es inferior al obtenido por reglamento.





### 3. Datos de partida

Los datos de partida para realizar el cálculo estructural son los siguientes:

Eslora entre perpendiculares	50,00 m
Manga	15,50 m
Calado	2,75 m
Peso muerto	88,75 Tn
Peso en rosca	761,25 Tn
Desplazamiento	850,00 Tn
Coeficiente de Bloque	0,463
Francobordo	6,50 m
Puntal a la cubierta casino	3,15 m
Puntal a la cubierta pasaje	5,80 m
Puntal a la cubierta puente	8,40 m
Clara entre cuadernas	1,00 m

Tabla 1. Datos de partida del buque para el diseño estructural



## 4. Materiales Compuestos

### 4.1. Generalidades

El diseño de la estructura en materiales compuestos es un requisito del Proyecto. Los plásticos reforzados de fibras presentan altas cualidades mecánicas, gran facilidad de aplicación y libertad de diseño que los hacen adecuados para la construcción de barcos de recreo, pesqueros e incluso buques de defensa como los cazaminas con una eslora de hasta 60 m.

El objetivo del proyecto es analizar la viabilidad de construcción del Trimarán de referencia en materiales compuestos y realizar una comparativa con la construcción en aluminio inicialmente prevista en el Proyecto nº 1664 de la ETSIN de Madrid.

El acero es el principal material usado en la construcción naval debido a las ventajas que presenta: resistencia, tenacidad a la corrosión debidamente tratado, resiliencia y sobre todo bajo coste.

La construcción de buques en aluminio tiene un ratio dureza/peso excelente, especialmente si tenemos en cuenta su ductilidad para poder recibir impactos accidentales sin fracturarse. Los cascos de aluminio no presentan problemas de ósmosis y tienen una buena resistencia a la corrosión. Sin embargo, hay que tener especial cuidado con los fenómenos de corrosión galvánica, que se produce cuando dos metales se ponen en contacto y ambos poseen potenciales eléctricos diferentes.

Así por ejemplo, la US Navy ha decidido volver a la construcción de sus buques enteramente de acero, dejando atrás la construcción en aluminio, sobre todo de superestructuras, que había imperado desde la finalización de la Segunda Guerra Mundial; dicha decisión es debido a los numerosos problemas de agrietamiento y su coste de reparación y mantenimiento, así como los recientes problemas de corrosión galvánica aparecidos en el USS Independence, el primer trimarán de la serie LCS



(Littoral Combat Ship) diseñado por General Dynamics y construido por el astillero Austal USA en Mobile (Alabama).



Figura 1. Trimarán “USS Independence”

La aplicación de materiales compuestos de alta tecnología tienen las siguientes ventajas:

- a. Resistencia al ambiente marino.
- b. Peso ligero.
- c. Alta resistencia.
- d. Construcción sin costuras.
- e. Buena inercia química.
- f. Posibilidad de orientación de la resistencia de las fibras.
- g. Posibilidad de moldear formas complicadas.
- h. Flexibilidad.
- i. Bajo mantenimiento.
- j. Larga duración.

Al compararlos con los materiales metálicos podemos considerar los siguientes inconvenientes en el uso de materiales compuestos:



- a. Rigidez del casco.
- b. Resistencia a la fatiga.
- c. Fluencia.
- d. Vibraciones.
- e. Abrasión.
- f. Vulnerabilidad al fuego.
- g. Coste competitivo.

#### **4.2. Resina**

Las resinas termoestables constituyen el elemento matriz que permite explotar las altas cualidades mecánicas de las fibras. Son polímeros termoendurecibles, es decir, susceptibles de convertirse en sólidos estables mediante un proceso de polimerización irreversible con la ayuda de catalizadores.

De entre los distintos tipos de resinas, se usarán resinas de viniléster, que tienen una gran analogía química con las de poliéster, que son las más utilizadas generalmente. Las resinas de viniléster tienen más resistencia química y mecánica, absorben perfectamente los choques mecánicos, térmicos y son adecuadas para zonas sometidas a altas tensiones y vibraciones.

La densidad de la resina de viniléster es de  $1,23 \text{ gr/cm}^3$ .

#### **4.3. Fibras de vidrio**

Las fibras de vidrio están constituidas por delgados y duros filamentos con gran resistencia a la tracción. En todos los casos la fibra de vidrio se prepara con unos productos químicos que la hacen impregnable con las resinas plásticas, operación denominada ensimaje.

Existen diferentes tipos de tejidos que se forman por el cruce de los hilos, llamándose hilos de “urdimbre” a los situados en la dirección más larga del tejido e



hilos de “trama” a los situados a lo ancho. Se llama “gramaje” a la cantidad de peso de un tejido que hay por unidad de superficie.

La densidad de la fibra de vidrio tipo E es de  $2,56 \text{ gr/cm}^3$ .

Para el diseño de la estructura del Trimarán en Proyecto se han usado los siguientes tipo de tejidos:

- MAT: Compuesto por hilos de fibra de vidrio de 4 o 5 cm unidos aleatoriamente por un ligante en varias capas. Tiene gran facilidad para impregnarse bien en resina, es isotrópico, fácil de manejar manualmente adaptándose bien a las superficies difíciles. Se han utilizado gramajes de 300, 450 y  $600 \text{ gr/cm}^2$ .



Figura 2. Fibra de vidrio tipo MAT

- ROVING: El MAT debe combinarse con tejidos como el ROVING que le confiere al laminado las propiedades de resistencia adecuadas. El tejido ROVING es un tafetán que se forma entrelazando hilo de trama y urdimbre de forma alternada, de esta forma se obtiene un tejido con una superficie de mayor espesor que ayuda rápidamente al espesor del laminado. Se han utilizado gramajes de 600 y  $800 \text{ gr/cm}^2$ .

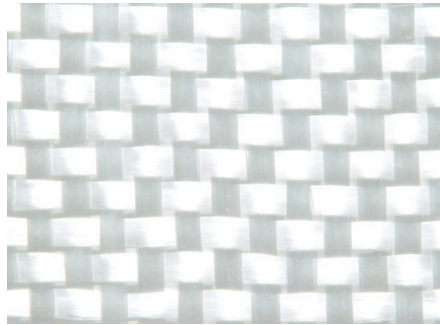


Figura 3. Fibra de vidrio tipo ROVING

- Unidireccional: Son tejidos en los que predomina una dirección sobre la otra desde el punto de vista de propiedades mecánicas.

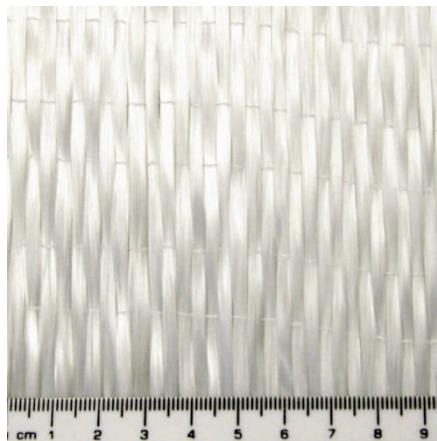


Figura 4. Fibra de vidrio tipo Unidireccional

#### 4.4. Núcleos

La baja rigidez a la flexión es una de las desventajas de los laminados a fibra. Para aumentar esta rigidez en una embarcación podemos considerar tres opciones:

1. Aumentar el número de refuerzos del casco o mamparos para disminuir el espaciado entre ellos y por tanto el tamaño de los paneles de plancha laminada no soportado sea menor.
2. Aumentar el espesor del laminado con el consiguiente aumento de peso de la estructura.



3. Utilizar paneles sándwich colocando un material de núcleo de baja resistencia entre dos pieles de un laminado de gran resistencia.

La rigidez de un panel sándwich no sólo depende de la rigidez de los componentes, de su módulo de flexión, sino también de la distancia que el núcleo separa los laminados exteriores. De hecho, la rigidez es proporcional al cubo del espesor del panel. Un ligero aumento del espesor aumenta considerablemente la resistencia a la flexión.



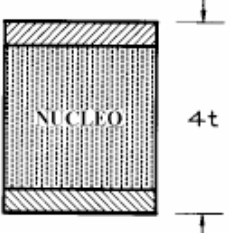
			
RIGIDEZ	100	700	3700
ESFUERZO	100	350	925
PESO	100	103	106

Figura 5. Comparativa entre laminado monolítico y sándwich.

En el diseño de cubiertas y mamparos se han diseñado paneles sándwich con pieles laminadas en fibra de vidrio y núcleo de PVC.



Figura 6. Paneles Sandwich de Fibra de Vidrio y Núcleo PVC

Las espumas son los materiales de núcleo más comunes, y entre ellas el PVC. Son materiales alveolares que permiten la construcción de barcos de bajo peso y altas prestaciones.





## 5. Propiedades generales de los componentes laminados

Las propiedades de la resina y de las fibras utilizadas son las siguientes:

	<b>FIBRAS</b> Vídrio E	<b>RESINA</b> Viniléster
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	2,54	1,23
Módulo de Young MPA	73000	3400
Coeficientes de Poisson	0,25	0,316
Elongación %	2,50	1,90

Tabla 2. Propiedades de Fibras y Resina

Las propiedades de los núcleos de PVC son:

	<b>NÚCLEO</b> PVC
Densidad núcleo (kg/m <sup>3</sup> )	80,00
Tensión rotura a cortante (N/mm <sup>2</sup> )	1,20
Módulo Young (N/mm <sup>2</sup> )	83,70
Módulo a cortante (N/mm <sup>2</sup> )	30,00
Porcentaje huecos	0,00

Tabla 3. Propiedades de Fibras y Resinas

En primer lugar se obtiene el contenido en fibra de cada capa mediante la siguiente ecuación:

$$V_f = \frac{W_f(1 - \mu)}{W_f + (1 - W_f) \frac{\rho_f}{\rho_m}}$$



Porcentaje volumen MAT	0,1547
Porcentaje volumen Roving	0,3346
Porcentaje volumen UD	0,4774

Tabla 4. Contenidos en fibra

Cualquiera que sea el tipo de material de refuerzo utilizado, se debe calcular primero las características elásticas de una capa con fibras unidireccionales que tenga el mismo contenido de refuerzo que la capa considerada. Así, el Módulo de Young vendrá dado por:

Paralelo a las fibras:

$$E_1 = V_f E_f + (1 - V_f) E_m$$

Perpendicular a las fibras:

$$E_2 = \frac{E_m}{1 - v_m^2} \frac{1 + 0.85 V_f^2}{(1 - V_f)^{1.25} + V_f \frac{E_m}{E_f (1 - v_m^2)}}$$

El contenido en masa de fibra en una capa de MAT es entre 0,25 y 0,35. Se selecciona un porcentaje de 0,30. El módulo de Young de una capa de MAT se puede estimar por la expresión:

$$E_{MAT} = \frac{3}{8} E_1 + \frac{5}{8} E_2$$

	MAT		
Módulo Young paralelo a las fibras	$E_1$	14165,79	N/mm <sup>2</sup>
Módulo Young perpendicular a las fibras	$E_2$	4708,34	N/mm <sup>2</sup>
Módulo Young de una capa	$E_{MAT}$	8254,88	N/mm <sup>2</sup>

Tabla 5. Módulos Young MAT

En el caso de tejido ROVING, el contenido en masa de fibra, en una capa, es entre 0,4 y 0,6, y en el caso de tejido unidireccional es entre 0,6 y 0,7. Se toman como



valores 0,55 y 0,70. La dirección de la trama (dirección principal 1) tiene distintas propiedades que la dirección de la urdimbre (dirección 2).

$$E_{1R} = kE_1 + (1 - k)E_2$$

$$E_{2R} = (1 - k)E_1 + kE_2$$

donde  $k$  es el coeficiente de balance del tejido, que es la relación entre la resistencia a tracción en el sentido de la trama, a la suma de las resistencias a tracción en las direcciones de trama y urdimbre. Como coeficientes de balance se toma un valor de 0,5 para ROVING y 0,65 para UD. Una capa de ROVING se puede considerar como dos capas unidireccionales perpendiculares, y es posible aplicar directamente las fórmulas anteriores.

	ROVING		
Módulo Young paralelo a las fibras	$E_1$	26689,89	N/mm <sup>2</sup>
Módulo Young perpendicular a las fibras	$E_2$	6690,87	N/mm <sup>2</sup>
Módulo Young dirección principal	$E_{1R}$	16690,38	N/mm <sup>2</sup>
Módulo Young dirección de la urdimbre	$E_{2R}$	16690,38	N/mm <sup>2</sup>

Tabla 6. Módulos Young ROVING

	UD		
Módulo Young paralelo a las fibras	$E_1$	36630,46	N/mm <sup>2</sup>
Módulo Young perpendicular a las fibras	$E_2$	9614,43	N/mm <sup>2</sup>
Módulo Young dirección principal	$E_{1UD}$	36630,46	N/mm <sup>2</sup>
Módulo Young dirección de la urdimbre	$E_{2UD}$	9614,43	N/mm <sup>2</sup>

Tabla 7. Módulos Young UD



## **6. Principios estructurales del diseño**

### **6.1. Introducción**

En este apartado se especificarán los principios de diseño estructural en los que se ha basado el proyecto, principalmente regidos por el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” de la Sociedad de Clasificación DNV, en Pt.3 Ch.4 Sec.1.

Estas reglas son aplicables a las estructuras de fibra de vidrio reforzado de plástico (GRP), de forro sencillo y construcciones tipo sándwich. Los plásticos utilizados en estas aplicaciones serán termoestables. (A101)

Una construcción de una sola piel se considera que es una estructura que consta de un laminado de GRP, soportes y refuerzos locales estrechamente espaciados. (A102)

Una construcción sándwich se considera que es un elemento estructural que consta de tres componentes: un laminado de GRP o pieles a cada lado de un núcleo de baja densidad. Se supone que las propiedades y las proporciones de los materiales de los componentes son tales que cuando un panel sándwich está expuesto a una carga lateral de los momentos de flexión son soportados por las pieles y las fuerzas de cizallamiento por el núcleo. (A103)

### **6.2. Cálculos estructurales**

#### **6.2.1. Principios de diseño**

El buque deberá estar diseñado de tal manera que las cargas sean soportadas principalmente por las fibras. Las fibras se alinearán conforme a la dirección principal de la carga. (C101)



El modo de fallo de un laminado será el de fallo de la fibra. Se alinearán las fibras de acuerdo con C101, teniendo fibras suficientes en la dirección principal mediante una secuencia de laminado evitando aglomeraciones. (C102)

Las desviaciones de C101 pueden ser aceptados en las áreas locales de detalle que hayan sido bien comprobadas y para cargas pequeñas de carácter secundario. (C103)

### **6.2.2. Niveles de cálculo**

El nivel de cálculo se puede elegir en función de la finalidad perseguida. Se diferencian los siguientes tres niveles:

- Métodos de cálculo simplificados.
- Métodos de cálculo de laminados basados en elementos finitos.
- Métodos de cálculo de detalle basados en la teoría de estructura y mediante el uso de criterios de fallo.

El método de cálculo simplificado será el usado en este Proyecto. Se basa en la aplicación de las fórmulas empíricas previstas en el Reglamento. (C200)

Este método simplificado de cálculo se basa en la formulación establecida por el reglamento del DNV en la Sec.5, la Sec.6 y la Sec.7. Las tensiones admisibles y las flechas que pueden ser usadas en el cálculo estructural conforme a este método de cálculo simplificado se dan en las secciones respectivas. (C400)

### **6.2.3. Escantillonado**

#### **6.2.3.1. Conceptos generales sobre el escantillonado**

Según “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” de la Sociedad de Clasificación DNV, en Pt.3 Ch.1 Sec.1. el escantillonado del casco se basa en dos principios de diseño: cargas y resistencia. (C101)



El reglamento establece cargas de diseño correspondiente a las cargas impuestas por el mar y los condicionamientos de la carga, el pasaje, lastre o bodegas. Las cargas de diseño son aplicables en los métodos y fórmulas de cálculo de resistencia cuando el nivel de resistencia satisfactoria está representado por esfuerzo admisible y/o criterios de seguridad. (C102)

La estructura ha sido calculada para ser capaz de soportar las cargas estáticas y dinámicas que actúan sobre el buque en las condiciones normales de funcionamiento, sin que tales cargas produzcan una deformación inadmisibles, la pérdida de estanqueidad o una insegura operación del barco. (C103)

Según el apartado C104, las cargas cíclicas, incluidas aquellas procedentes de vibraciones, no supondrán:

- La puesta en peligro de la integridad de la estructura durante la vida útil de la nave.
- Un impedimento al normal funcionamiento de la maquinaria y de los equipos de a bordo.
- La puesta en peligro de la capacidad de la tripulación para realizar sus tareas normales.

#### 6.2.3.2. Condiciones de cargas

Según “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” de la Sociedad de Clasificación DNV, en Pt.3 Ch.1 Sec.1. C200, las cargas estáticas se establecen a partir de las condiciones de carga presentadas por prescrito en las reglas. (C201)

La determinación de la carga dinámica se basa en la distribución a largo plazo de las respuestas que la nave experimentará durante su vida útil. (C202)



#### **6.2.3.3. Resistencia general del buque**

Según “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” de la Sociedad de Clasificación DNV, en Pt.3 Ch.1 Sec.1. C300, en cuanto a la resistencia del buque viga, para embarcaciones con una eslora  $L \leq 50$  m el estándar de resistencia mínima es normalmente cubierta a partir de los requisitos de resistencia locales.

#### **6.2.3.4. Resistencia a slamming**

Conforme al reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” de la Sociedad de Clasificación DNV, en Pt.3 Ch.1 Sec.1. C340, la estructura del buque se concibe para resistir a los esfuerzos debido al slamming o impacto del casco contra el mar.

### **6.3. Estructura de fondo**

#### **6.3.1. Refuerzos longitudinales**

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.1 D100, se establece un laminado monolítico como estructura de fondo reforzado longitudinalmente.

El motivo de establecer laminado monolítico en los cascos se debió a tres circunstancias. La primera es que en la gran mayoría de diseños consultados, todos se usaba laminado monolítico en el casco y laminado sandwich en mamparos y cubiertas. La segunda es que se precisa de núcleo de gran espesor (70 mm) para cumplir con los requisitos de tensión a cortante. Y la tercera es que los paneles sándwich podrían presentar problemas de unión debido al slamming.

Además de todo esto, se analizó la disminución de peso usando una construcción tipo sándwich. El resultado fue una disminución de cerca de 20 toneladas adicionales sobre el peso de la estructura, que se traducen en un menor calado (2 cm) en la condición de máxima carga, algo que parece poco significativo.



Los longitudinales serán continuos a través de los miembros transversales. En sus extremos, los longitudinales dispondrán de soportes o consolas.

Los refuerzos longitudinales se apoyarán sobre los refuerzos transversales y mamparos como se muestra en la siguiente figura.

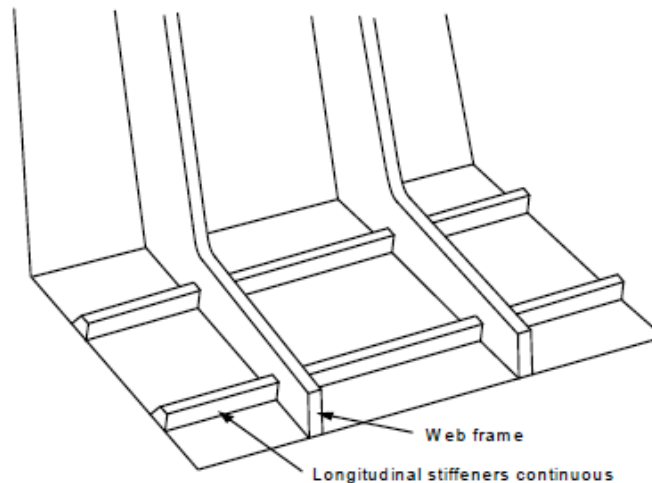


Figura 7. Conexión entre longitudinales y cuadernas

### **6.3.2. Bulárcamas y cuadernas**

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.1 D200, los refuerzos transversales tendrán continuidad en toda la sección del buque donde los laminados de cubiertas, los refuerzos de costado y de cubierta estarán eficientemente conectados a estos.

### **6.3.3. Vagras y esloras**

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.1 D300, las vagras de fondo y las esloras de las cubiertas tendrán continuidad a través de los mamparos. (D301)

Está prevista una vagra central para proporcionar suficiente rigidez a la quilla y el fondo del buque. (D302)





No se prevé ninguna apertura en los extremos de las vagras y bulárcamas. (D303)

#### **6.3.4. Refuerzos de cámara de máquinas**

Los motores serán soportados por refuerzos longitudinales con refuerzos locales (polines) adecuados para soportar y transmitir los esfuerzos. Se utilizarán materiales de núcleo rígido en las uniones roscadas. (D400)

### **6.4. Estructura de costado**

#### **6.4.1. Refuerzos de costado**

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.1 E100, los longitudinales serán continuos a través de los miembros transversales.

### **6.5. Estructura de cubierta**

#### **6.5.1. Refuerzos longitudinales**

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.1 F100, los longitudinales serán continuos a través de los miembros transversales.

#### **6.5.2. Amuradas**

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.1 F200, las amuradas tendrán el mismo escantillonado que la superestructura en la misma posición.



## 6.6. Mamparos

### 6.6.1. Mamparos estancos

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.1 G100, el número y la ubicación de los mamparos estancos transversales se establece en Ch.1 Sec.1 B, que establece que la subdivisión del casco es función de los compartimentos estancos requeridos en función del servicio. Así, se establecen los mamparos estancos mínimos siguientes:

- Mamparo de colisión o pique de proa.
- Mamparo a popa de la cámara de máquinas.
- Mamparo a proa de la cámara de máquinas.

Dichos mamparos se extienden hasta la cubierta de francobordo (pique de proa) o hasta la primera cubierta por encima del calado de proyecto (mamparos de cámara de máquinas).

### 6.6.2. Posición del mamparo de colisión

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.1 B300, la distancia  $x_c$  desde la perpendicular de proa al mamparo de colisión debe ser tomada entre los siguientes límites:

$$\begin{aligned}x_c(\min) &= 0.05L = 2.5m \\x_c(\max) &= 3 + 0.05L = 5.5m\end{aligned}$$

En el Proyecto Trimarán FRP se aproximamosu ubicación a la posición original del proyecto de aluminio, donde  $x_c = 3,8$  m ya que se encuentra entre los límites establecidos por el reglamento. En nuestro caso, la posición del mamparo de colisión se encuentra en  $x_c = 4$  m.



## **6.7. Superestructura**

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.1 H200, los mamparos más a proa y popa de la superestructura se sitúan en línea con anillos transversales formados por varenga, cuaderna y bao. Igualmente se establecerán pilares en dichas líneas para proporcionar suficiente resistencia al pandeo. El resto de mamparos longitudinales y transversales de los costados e internos se ubicarán sobre los refuerzos. (H201)

Se ha previsto una resistencia transversal de la superestructura a través de la estructura de cuadernas. (H202)



## 7. Aceleraciones de la estructura

El primer paso en el cálculo estructural parte del conocimiento de las acciones exteriores que se encontrará el buque. El análisis de las aceleraciones, presiones y cargas a las que se verá sometido el buque se realiza a través del reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” de la Sociedad de Clasificación DNV, el cual está basado en las medidas sobre buques y análisis estadístico de diseños de buques ligeros y de alta velocidad.

Los resultados plasmados en este capítulo han sido obtenidos de la hoja de cálculo “DNV Estructura”, que se adjunta en el CD-ROM.

### 7.1. Aceleraciones verticales

#### 7.1.1. Aceleración vertical de diseño

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.2 B201, la aceleración vertical de diseño en el centro de gravedad del buque será especificado por el constructor, y normalmente no será inferior a:

$$a_{cg} = \frac{V}{\sqrt{L}} \frac{3.2}{L^{0.76}} f_g g_0 \quad (\text{m/s}^2).$$

donde:

- Mínimo  $a_{cg} = 1 \cdot g_0$  por restricción de servicio R0
- $\frac{V}{\sqrt{L}}$  es necesario que sea inferior a 3,0
- $f_g$  = factor de aceleración (fracción de  $g_0$ ) dependiente de la notación de tipo y servicio dada en la Tabla B1.



Table B1 Acceleration factor $f_g$						
Type and service notation	Service area restriction notation					
	R0	R1	R2	R3	R4	R5-R6
Passenger	1)	1	1	1	1	0.5
Car ferry	1)	1	1	1	1	0.5
Cargo	4	3	2	1	1	0.5
Patrol	7	5	3	1	1	0.5
Yacht	1	1	1	1	1	0.5
1) Service area restriction R0 is not available for class notations <b>Passenger</b> and <b>Car Ferry</b> .						

La aceleración vertical de diseño en el centro de gravedad del buque ( $a_{cg}$ ) obtenida es **9,8 m/s<sup>2</sup>**.

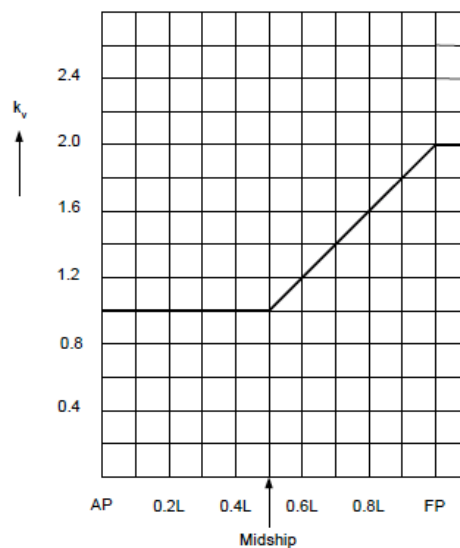
### 7.1.2. Aceleración vertical en las secciones

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.2 B202, la aceleración vertical de diseño en las diferentes secciones a lo largo de la eslora del buque no será inferior a:

$$a_v = k_v a_{cg}$$

donde:

- $K_v$  = Factor de distribución longitudinal según la siguiente figura.





La aceleración vertical en las diferentes secciones a lo largo de la eslora es:

Posición	K <sub>v</sub>	a <sub>v</sub> (m/s <sup>2</sup> )
AP	0,9	8,83
0,2L	0,9	8,83
0,4L	0,9	8,83
Midship	0,9	8,83
0,6L	1,2	11,77
0,8L	1,6	15,70
FP	2,0	19,62

Tabla 8. Aceleración vertical en las secciones

### 7.1.3. Reducción sobre la Aceleración Vertical de Diseño en función de la velocidad permitida

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.2 B203, la reducción sobre la aceleración vertical de diseño  $a_{cg}$ , se estimada a partir de las fórmulas siguientes para la relación entre los valores instantáneos de  $a_{cg}$ ,  $V$  y  $H_s$ .

En nuestro caso, al ser  $\frac{V}{\sqrt{L}}$  superior a 3:

$$a_{cg} = \frac{k_h g_0}{1650} \left( \frac{H_s}{B_{WL2}} + 0.084 \right) (50 - \beta_{cg}) \left( \frac{V}{\sqrt{L}} \right)^2 \frac{L B_{WL2}^2}{\Delta} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

donde:

- $H_s$  = Altura de ola significativa en m
- $\beta_{cg}$  = ángulo de astilla muerta en LCG, mín 10° y máx 30°.
- $B_{WL2}$  = Manga en L/2 en m. Para multicascos se toma la manga total excluidos los túneles.
- $g_0$  = Aceleración de la gravedad en m/s<sup>2</sup>
- $k_h$  = Factor en función de la tabla B2.



<b>Table B2 Hull type factor</b>	
<i>Hull type</i>	$k_h$
Monohull, Catamaran	1.0
Wave Piercer	0.9
SES, ACV	0.8
Foil assisted hull (see 206)	0.7
SWATH (see 206)	0.7

La reducción sobre la aceleración vertical de diseño ( $a_{cg}$ ) obtenida es **0,03 m/s<sup>2</sup>**.

## 7.2. Aceleraciones horizontales

### 7.2.1. Aceleración longitudinal (surge)

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.2 B300, el buque estará diseñado para una aceleración longitudinal (surge) no menor de:

$$a_l = 2.5 \frac{C_W}{L} \left( 0.85 + 0.25 \frac{V}{\sqrt{L}} \right)^2 g_0$$

donde:

- $\frac{V}{\sqrt{L}}$  es necesario que sea inferior a 4,0

La aceleración longitudinal ( $a_l$ ) no será menor de **6,71 m/s<sup>2</sup>**.

Otra fórmula tentativa en función de  $a_l$ ,  $H_s$  y  $V$ :

$$a_l = (1.67) \frac{H_s}{L} \left( 0.85 + 0.35 \frac{V}{\sqrt{L}} \right)^2 g_0$$

En este caso, la aceleración longitudinal ( $a_l$ ) no será menor de **7,15 m/s<sup>2</sup>**.

$a_l$  está prevista para el cálculo de las fuerzas de inercia dirigidas hacia proa y puede que deba ser incrementada en función de las posibilidades de impacto en la proa del buque.



$a_l$  deberá ser simultánea con la inercia vertical hacia abajo en la zona de proa.

### 7.2.2. Aceleración transversal (roll)

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.2 B302, es necesario prestar atención a las aceleración transversales (roll).

El periodo de escora será:

$$T_R = \frac{\sqrt{L}}{1.05 + 0.175 \frac{V}{\sqrt{L}}} \quad (\text{s})$$

donde:

- $\frac{V}{\sqrt{L}}$  es necesario que sea inferior a 4,0

El máximo ángulo de escora será:

$$\theta_r = \frac{\pi h_w}{2L} \quad (\text{radians})$$

La aceleración transversal resultante será:

$$a_t = \left(2 \frac{\pi}{T_R}\right)^2 \theta_r r_r \quad (\text{m/s}^2)$$

donde:

- $h_w$  = máxima altura de ola en la cual el 70% de la velocidad podrá ser mantenida, mínimo  $0,6 \cdot C_w$  (Coeficiente de ola)
- $r_r$  = altura sobre el eje de giro, el cual se toma sobre la flotación.

La aceleración transversal ( $a_t$ ) no será menor de **0,50 m/s<sup>2</sup>**.





## 8. Cálculos de presiones y cargas

### 8.1. Slamming

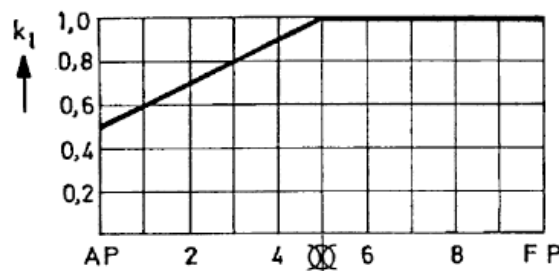
#### 8.1.1. Presión debida a slamming sobre el fondo

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.2 C200, la presión de diseño para tener en cuenta el slamming sobre el fondo con  $V/\sqrt{L} \geq 3$  debe ser:

$$P_{sl} = 1.3k_l \left( \frac{\Delta}{nA} \right)^{0.3} T_O^{0.7} \frac{50 - \beta_x}{50 - \beta_{cg}} a_{cg} \quad (\text{kN/m}^2)$$

donde:

- $k_l$  = factor de distribución longitudinal según la siguiente figura.



- $n$  = número de cascos<sup>1</sup>.
- $A$  = superficie de diseño considerada para cada elemento en m<sup>2</sup>.
  - Para planchas  $A$  deberá ser inferior a  $2,5 \cdot s^2$
  - Para refuerzos primarios y secundarios  $A$  será el producto de la luz del refuerzo y la distancia entre refuerzos.
  - Es necesario no tomar para ningún elementos un valor menor de  $0,002 \Delta / T$ .

<sup>1</sup> Se especifica que los trimaranes y otros multicascos serán especialmente considerados. Se toma  $n=2$  como simplificación.



- $T_0$  = calado en  $L/2$  en m en la condición de operación normal a la velocidad de servicio.
- $\Delta$  = Desplazamiento a plena carga en toneladas en aguas salada con calado  $T$
- $\beta_x$  = ángulo de astilla muerta en la sección transversal, mín  $10^\circ$  y máx  $30^\circ$ .
- $\beta_{cg}$  = ángulo de astilla muerta en LCG, mín  $10^\circ$  y máx  $30^\circ$ .
- $a_{cg}$  = Aceleración vertical de diseño en el centro de gravedad del buque.

Las presiones de diseño por slamming sobre el fondo en las secciones consideradas son:

Posición	$k_l$	$\beta_x$	$P_{sl} \text{ (KN/m}^2\text{)}$
AP	0,50	13,70	83,60
0,2L	0,70	14,30	115,11
0,4L	0,90	16,70	138,04
Midship	1,00	19,90	138,64
0,6L	1,00	22,70	125,75
0,8L	1,00	30,00	92,12
FP	1,00	30,00	92,12

Tabla 9. Presión por slamming en el fondo (Planchas)

Posición	$k_l$	$\beta_x$	$P_{sl} \text{ (KN/m}^2\text{)}$
AP	0,50	13,70	93,57
0,2L	0,70	14,30	128,83
0,4L	0,90	16,70	154,51
Midship	1,00	19,90	155,18
0,6L	1,00	22,70	140,74
0,8L	1,00	30,00	103,11
FP	1,00	30,00	103,11

Tabla 10. Presión por slamming en el fondo (Refuerzos Longitudinales)

Posición	$k_l$	$\beta_x$	$P_{sl} \text{ (KN/m}^2\text{)}$
AP	0,50	13,70	93,57
0,2L	0,70	14,30	128,83
0,4L	0,90	16,70	154,51
Midship	1,00	19,90	155,18
0,6L	1,00	22,70	140,74
0,8L	1,00	30,00	103,11
FP	1,00	30,00	103,11

Tabla 11. Presión por slamming en el fondo (Refuerzos Transversales)



### 8.1.2. Presión debida a slamming en la proa

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.2 C300, la presión de diseño para tener en cuenta el slamming sobre la proa y el costado en la zona de proa debe ser:

$$P_{sl} = \frac{0.7 L C_L C_H}{A^{0.3}} \left( 0.6 + 0.4 \frac{V}{\sqrt{L}} \sin \gamma \cos(90^\circ - \alpha) + \frac{2.1 a_0}{C_B} \sqrt{0.4 \frac{V}{\sqrt{L}} + 0.6 \sin(90^\circ - \alpha) \left( \frac{x}{L} - 0.4 \right)} \right)^2$$

donde:

- $\frac{V}{\sqrt{L}}$  es necesario que sea inferior a 3
- A = superficie de diseño considerada para cada elemento en m<sup>2</sup>.
  - Para planchas A debe ser inferior a 2,5·s<sup>2</sup>
  - Para refuerzos primarios y secundarios A debe ser mayor que e<sup>2</sup>
  - En general A debe ser superior a L·B<sub>wl</sub>/1000
- e = extensión vertical del área de carga, medida a lo largo de la perpendicular de la línea de agua.
- x = distancia en m desde la perpendicular de popa a la posición considerada
- C<sub>L</sub> = Factor corrector de la eslora del barco con L < 100 m

$$= \frac{250L - L^2}{15000}$$

- C<sub>H</sub> = Factor corrector de para la altura entre la flotación y el punto considerado

$$= 1 - \frac{0.5}{C_W} h_0$$

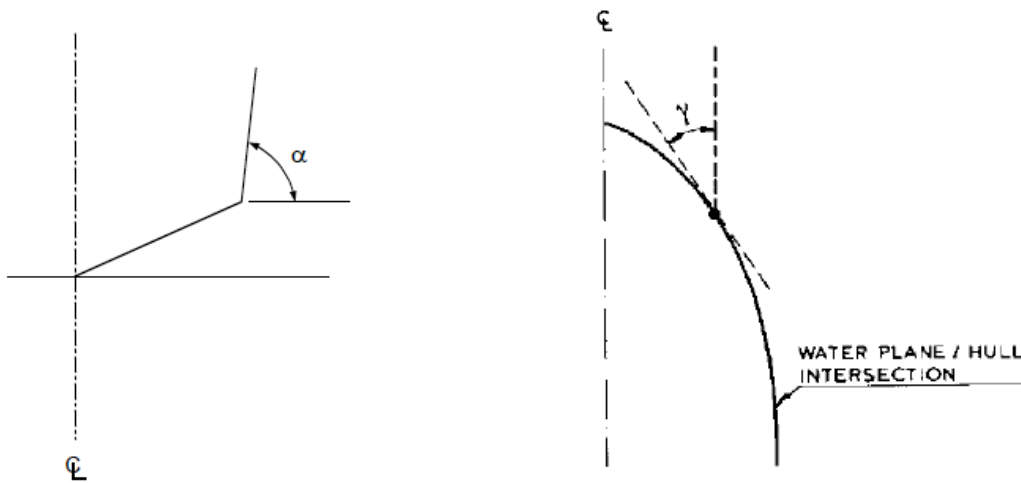
- α = ángulo de apertura



- $\gamma$  = ángulo entre la línea de agua y una línea longitudinal medida en el punto considerado.
- $a_0$  = parámetro de aceleración:

$$a_0 = 3 \frac{C_W}{L} + C_V \frac{V}{\sqrt{L}}$$

$$C_V = \frac{\sqrt{L}}{50}, \text{ maximum } 0.2$$



La presión de diseño para tener en cuenta el slamming sobre la proa y el costado en la zona de proa

Elemento	Plancha	Ref. Log.	Ref. Trans.	
$P_{sl}$	155,88	163,03	163,03	KN/m <sup>2</sup>

Tabla 12. Presión por slamming en la proa

### 8.1.3. Presión debida a slamming en túneles

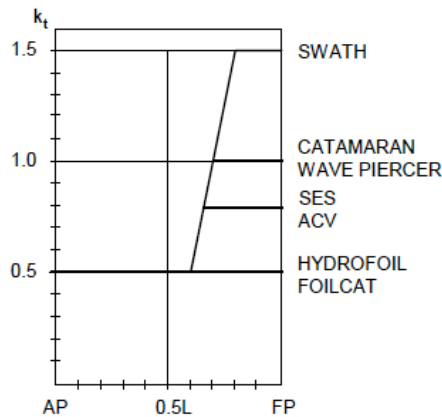
En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.2 C300, la presión de diseño para tener en cuenta el slamming en la zona de túneles debe ser:



$$P_{sl} = 2.6 k_t \left( \frac{\Delta}{A} \right)^{0.3} a_{cg} \left( 1 - \frac{H_c}{H_L} \right) \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

donde:

- A = superficie de diseño considerada para cada elemento en m<sup>2</sup>.
- k<sub>t</sub> = factor de distribución longitudinal según la siguiente figura.



- H<sub>c</sub> = distancia mínima vertical en m desde la línea de agua al punto considerado en la condición de carga.
- H<sub>L</sub> = espacio vertical necesaria en m desde la línea de agua al punto considerado en la condición de carga para evitar el slamming.

$$= 0.22 L \left( k_c - \frac{0.8}{1000} L \right)$$

- k<sub>c</sub> = factor de espacio en función del tipo de barco.

La presión de diseño para tener en cuenta el slamming en la zona de túneles es

Posición	k <sub>t</sub>	P <sub>sl</sub> (KN/m <sup>2</sup> )
AP	0,50	85,65
0,2L	0,50	85,65
0,4L	0,50	85,65
Midship	0,50	85,65
0,6L	0,50	85,65
0,8L	1,00	171,30
FP	1,00	171,30

Tabla 13. Presión por slamming en la zona de túneles



## 8.2. Presión del mar

### 8.2.1. Presión sobre fondo, costados y cubiertas

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.2 C501, la presión de diseño para tener en cuenta la presión del mar actuando sobre el fondo, los costados (incluidos superestructuras) y cubiertas a la intemperie debe ser:

Para cargas sobre puntos por debajo de la flotación:

$$p = 10h_0 + \left(k_s - 1.5 \frac{h_0}{T}\right) C_W \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Para cargas sobre puntos por encima de la flotación:

$$p = a k_s (C_W - 0.67 h_0) \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Mínimas presiones del mar:

Table C1 Minimum sea pressures			
Notation	Sides	Weather decks	Roofs higher than 0.1 L above WL
<b>R0, R1, R2, R3</b>	6.5	5	3
<b>R4</b>	5	4	3
<b>R5-R6</b>	4	3	3

donde:

- $H_0$  = distancia vertical en m desde la línea de agua al calado T del punto de carga.
- $k_s = 7,5$  a popa de la sección media  
 $5/C_B$  a a popa de la perpendicular de proa
- $a = 1$  para costados y abiertas cubiertas de francobordo



= 0,8 para cubiertas a la intemperie sobre la cubierta de francobordo

–  $C_w$  = coeficiente de ola

La presión del mar sobre fondo, costados y cubiertas en los puntos más desfavorables por debajo de la flotación es:

Posición	$k_s$	Fondo	Costado
		$P_{sl}$ (KN/m <sup>2</sup> )	$P_{sl}$ (KN/m <sup>2</sup> )
AP	7,50	51,50	45,64
0,2L	7,50	51,50	45,64
0,4L	7,50	51,50	45,64
Midship	7,50	51,50	45,64
0,6L	12,85	72,90	67,04
0,8L	12,85	72,90	67,04
FP	12,85	72,90	67,04

Tabla 14. Presión del mar sobre fondo, costados y cubiertas (bajo flotación)

La presión del mar sobre fondo, costados y cubiertas en los puntos más desfavorables por encima de la flotación es:

Posición	$k_s$	Cbta. Casino	Cbta. Pasaje	Cbta. Puente
		$P_{sl}$ (KN/m <sup>2</sup> )	$P_{sl}$ (KN/m <sup>2</sup> )	$P_{sl}$ (KN/m <sup>2</sup> )
AP	7,50	27,99	14,67	5,00
0,2L	7,50	27,99	14,67	5,00
0,4L	7,50	27,99	14,67	5,00
Midship	7,50	27,99	14,67	5,00
0,6L	12,85	47,96	25,14	5,00
0,8L	12,85	47,96	25,14	5,00
FP	12,85	47,96	25,14	5,00

Tabla 15. Presión del mar sobre fondo, costados y cubiertas (bajo flotación)

### 8.2.2. Presión del mar en los mamparos frontales y laterales de la superestructura

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.2 C502, la presión de diseño para tener en cuenta la presión del mar actuando sobre los mamparos frontales y laterales de la superestructura debe ser:



$$p = a k_s (C_W - 0.67 h_0) \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Las presiones mínimas vendrán dadas por:

$$P_{\min} = 5 + (5 + 0.05L) \operatorname{sen} \alpha \text{ (kN/m}^2\text{)} \text{ para las zonas inferiores de frontales no protegidos}$$

$$P_{\min} = 5 \text{ (kN/m}^2\text{)} \text{ para mamparos de pique de popa}$$

$$P_{\min} = 5 + 0.025L \operatorname{sen} \alpha \text{ (kN/m}^2\text{)} \text{ para el resto}$$

donde:

- $\alpha$  = ángulo entre el mamparo/costado y cubierta
- $a = 2$  para las zonas inferiores de frontales no protegidos
  - = 1,5 para frentes de casetas
  - = 1,0 para costados de casetas
  - = 0,8 para cualquier otro lugar

La presión de diseño para tener en cuenta la presión del mar actuando sobre los mamparos frontales y laterales de la superestructura es:

		Frontal	Costado	Techo
Posición	$k_s$	$P_{sl} \text{ (KN/m}^2\text{)}$	$P_{sl} \text{ (KN/m}^2\text{)}$	$P_{sl} \text{ (KN/m}^2\text{)}$
AP	7,50	33,87	16,94	16,94
0,2L	7,50	33,87	16,94	16,94
0,4L	7,50	33,87	16,94	16,94
Midship	7,50	33,87	16,94	16,94
0,6L	12,85	58,03	29,02	29,02
0,8L	12,85	58,03	29,02	29,02
FP	12,85	58,03	29,02	29,02

Tabla 16. Presión del mar sobre los mamparos frontales y laterales de la superestructura





## 9. Cálculos de Resistencia General

### 9.1. Momentos flectores longitudinales, fuerzas cortantes y cargas axiales

#### 9.1.1. Área de referencia

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.3 A201, para buques de  $V/\sqrt{L} \geq 3$  se considera una presión debida al *slamming* que actúa sobre un área igual a la de referencia  $A_R$ , tal como se define a continuación. El área se considerará situada en la vertical del LCG del buque. La distribución en peso del buque viga deberá ser incrementado por la aceleración en LCG. El buque viga deberá ser considerada fuera del agua.

$$A_R = k \Delta \frac{\left(1 + 0.2 \frac{a_{cg}}{g_0}\right)}{T} \quad (m^2)$$

donde:

- $k = 0,7$  para slamming sobre el centro del buque (crest landing)
- $k = 0,6$  para slamming sobre los extremos del buque (hollow landing)
- $a_{cg}$  = aceleración vertical de diseño en LCG
- $g_0$  = aceleración de la gravedad

El área de referencia para slamming sobre el centro  $A_{R(Crest)}$  es **259,64 m<sup>2</sup>**.

El área de referencia para slamming sobre los extremos  $A_{R(Hollow)}$  es **222,55 m<sup>2</sup>**.



### 9.1.2. Momento flector dinámico por slamming en quebranto (*crest landing*)

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.3 A203, el momento flector dinámico por slamming en quebranto (*crest landing*) se puede suponer que es:

$$M_B = \frac{\Delta}{2} (g_0 + a_{cg}) \left( e_w - \frac{l_s}{4} \right) \text{ (kNm)}$$

donde:

- $\Delta$  = desplazamiento en toneladas
- $a_{cg}$  = aceleración vertical de diseño en LCG
- $e_w = 0,25 \cdot L$
- $l_s$  = extensión longitudinal del área de referencia

$$l_s = \frac{A_R}{b_s}$$

donde:

- $b_s$  = ancho del área de referencia *slamming*
- $(e_w - l_s/4)$  no deberá ser menor de  $0,04 \cdot L$

El momento flector dinámico por slamming en quebranto (*crest landing*) es **39.381,39 kNm**.



Figura 8. Crest landing



### 9.1.3. Momento flector dinámico por slamming en arrufo (*hollow landing*)

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.3 A300, el momento flector dinámico por slamming en arrufo (*hollow landing*) se puede suponer que es:

$$M_B = \frac{\Delta}{2} (g_0 + a_{cg}) (e_r - e_w)$$

donde:

- $e_r$  = distancia entre el centro de  $A_R/2$  y LCG del buque en m
- $(e_r - e_w)$  no debe ser menor que  $0,04 \cdot L$

El momento flector dinámico por slamming en arrufo (*hollow landing*) es **16.677,00 kNm**.

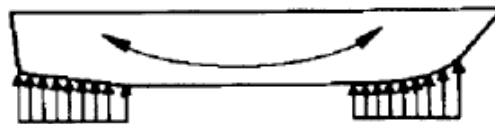


Figura 9. Hollow landing

### 9.1.4. Momentos flectores inducidos por las olas

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.3 A300, los momentos flectores (aguas tranquilas + olas) para multicasco se puede suponer que es:

$$M_{\text{tot hog}} = M_{\text{sw}} + 0.19 C_W L^2 (B_{\text{WL2}} + k_2 B_{\text{tm}}) C_B$$

$$M_{\text{tot sag}} = M_{\text{sw}} + 0.14 C_W L^2 (B_{\text{WL2}} + k_3 B_{\text{tm}}) (C_B + 0.7)$$

donde:

- $M_{\text{sw}}$  = momento en aguas tranquilas en la condición de carga más desfavorable en kNm  
 $= 0,5 \cdot \Delta \cdot L$  (kNm) en quebranto si no se conoce



= 0 en arrufo si no se conoce

- $B_{tn}$  = manga en m the las estructuras cruzadas (túneles)
- $k_2$  y  $k_3$  = factores empíricos para tener en cuenta el efecto de inmersión de los túneles en las olas por arrufo y quebranto.

$$k_2 = 1 - \frac{z - 0.5 T}{0.5 T + 2 C_W}, \text{ minimum } 0$$

$$k_3 = 1 - \frac{z - 0.5 T}{0.5 T + 2.5 C_W}, \text{ minimum } 0$$

- $k_4 = 0,25$  en general, cuando  $V$  es la máxima velocidad del buque  
= 0,35 cuando  $V$  es más baja
- $z$  = altura en m desde la línea base a la parte superior del túnel.

El momento flector en quebranto  $M_{SW(Q)}$  es **32070,31 kNm**.

El momento flector en arrufo  $M_{SW(A)}$  es **20026,86 kNm**.

#### 9.1.5. Fuerzas cortantes

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.3 A600, la fuerza cortante de un buque viga debe estar relacionado con los momentos flectores anteriormente obtenidos:

$$Q_b = \frac{M_B}{0.25 L} \text{ (kN)}$$

donde:

- $M_B$  = momento flector en kNm

La fuerza cortante en relación al momento flector por slamming en la sección media del buque  $Q_{b(Crest)}$  es **1334,16 kN**.



La fuerza cortante en relación al momento flector por slamming en los extremos del buque  $Q_{b(Hollow)}$  es **3150,51 kN**.

La fuerza cortante en relación al momento flector en quebranto  $Q_{b(Q)}$  es **2565,62 kN**.

La fuerza cortante en relación al momento flector en arrufo  $Q_{b(A)}$  es **1602,15 kN**.

#### 9.1.6. Cargas axiales

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.3 A700, serán consideradas las cargas axiales derivadas del movimiento de avance (surge), empuje y presión del mar:

$$0.4 g_0 \text{ for } \frac{V}{\sqrt{L}} \geq 5$$
$$(0.2) g_0 \text{ for } \frac{V}{\sqrt{L}} \leq 3$$

con interpolación linear para puntos intermedios  $V / \sqrt{L}$ .

La carga axial ( $F_a$ ) a considerar es de **1667,70 kN**.

## 9.2. Momentos flectores transversales, fuerzas cortantes y torsión

Se asimilan los valores especificados para catamaranes en el diseño del Trimarán, según recomendaciones de la dirección de proyecto.

### 9.2.1. Momento flector transversal

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.3 B202, para barcos de  $L \geq 50$  m el momento flector transversal deberá ser asumido como el mayor entre:



$$M_S = M_{S0} \left( 1 + \frac{a_{cg}}{g_0} \right) \text{ (kNm)}$$

$$M_S = M_{S0} + F_y (z - 0.5T) \text{ (kNm)}$$

donde:

- $M_{S0}$  = momento flector transversal en aguas tranquilas en kNm
- $F_y$  = fuerza horizontal dividida sobre el casco sumergido

$$= 3.25 \left( 1 + 0.0172 \frac{V}{\sqrt{L}} \right) L^{1.05} T^{1.30} (0.5 B_{WL})^{0.146} \\ \cdot \left[ 1 - \frac{L_{BMAX}}{L} + \frac{L_{BMAX}}{L} \left( \frac{B_{MAX}}{B_{WL}} \right)^{2.10} \right] H_1 \text{ (kN)}$$

donde:

- $H_1$  = mín (0,143B;  $H_{S,Máx}$ )
- $B_{WL}$  = manga máxima en m en la flotación (suma de los cascos)
- $B_{MAX}$  = manga máxima en m de la parte sumergida (suma de los cascos)
- $L_{MAX}$  = eslora en m donde  $B_{MAX}/B_{WL} > 1$
- $H_{S,Máx}$  = altura de ola significativa en la que el buque está disponible para operar en m
- $B$  = manga total en m
- $z$  = altura desde la línea base al eje neutro de la estructura cruzada en m
- $\frac{V}{\sqrt{L}}$  es necesario que sea inferior a 3

El momento flector transversal es **23686,87 kNm**.

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.3 B202, para barcos de  $L \geq 50$  m el momento flector transversal en aguas tranquilas para buques multicascos debe ser:

$$M_{S0} = 4.91 \Delta (y_b - 0.4 B^{0.88}) \text{ (kNm)}$$



donde:

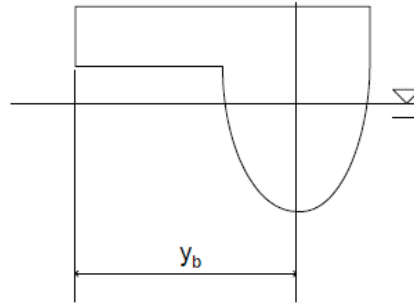


Figura 10. Distancia transversal a casco lateral

### 9.2.2. Fuerza cortante transversal

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.3 B203, la fuerza cortante transversal en la línea central entre los cascos debe ser:

$$S = \frac{\Delta a_{cg}}{q} \text{ (kN)}$$

donde:

- $q$  = factor dado en la tabla B1

Table B1 Factors $s$ and $q$		
Service restriction	$s$	$q$
R4-R6	8.0	6.0
R3	7.5	5.5
R2	6.5	5.0
R1	5.5	4.0
R0	4.0	3.0

La fuerza cortante transversal en la línea central entre los cascos es **2779,50 kN**.

### 9.2.3. Momento de torsión en el eje transversal

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.3 B300, el momento de torsión en el eje transversal debe ser:

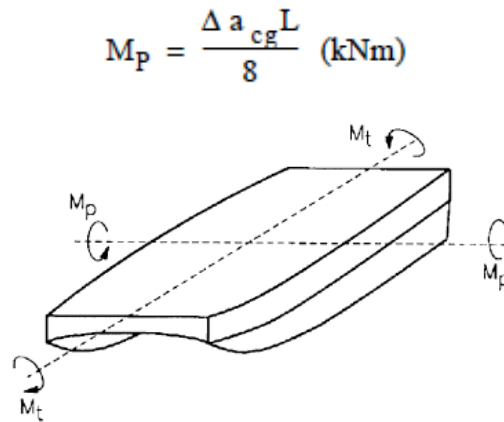


Figura 11. Momentos de torsión longitudinales y transversales

El momento de torsión en el eje transversal es **52115,63 kNm**.

#### 9.2.4. Momento de torsión en el eje longitudinal

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.3 B400, el momento de torsión en el eje longitudinal debe ser:

$$M_t = \frac{\Delta a_{cg} b}{4} \text{ (kNm)}$$

El momento de torsión en el eje longitudinal es **30018,60 kNm**.

### 9.3. Combinación de cargas

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.3 A801, las cargas longitudinales aplicables sobre el buque viga, momento flector, fuerza vertical y torsión se considerarán de acuerdo con las siguientes combinaciones:

- 80 % momento flector y fuerza cortante + 60 % torsión = **49516,27 kNm**





Comb A801 I	49516,27	kNm	Crest landing
	31352,76	kNm	Hollow landing
	43667,41	kNm	Quebranto
	34032,65	kNm	Arrufo

Tabla 17. Combinación 80% MF y FC + 60% Torsión

- 60 % momento flector y fuerza cortante + 80 % torsión = **47643,71 kNm**

Comb A801 II	47643,71	kNm	Crest landing
	34021,08	kNm	Hollow landing
	43257,07	kNm	Quebranto
	36031,00	kNm	Arrufo

Tabla 18. Combinación 60% MF y FC + 80% Torsión

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.3 A802, las cargas transversales aplicables sobre el buque viga, momento flector y momento de torsión se considerarán de acuerdo con las siguientes combinaciones:

- 70 % momento flector transversal + 100 % torsión = **68696,44 kNm**
- 100 % momento flector transversal + 70 % torsión = **60167,81 kNm**



## **10. Escantillonado del Buque**

### **10.1. Criterios de verificación**

El escantillonado del buque se ha realizado teniendo en cuenta los criterios de verificación especificados para resistencia local, considerada suficiente, por el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” del DNV en su Pt. 3 Ch. 4 “Hull Structural Design, Fibre Composite and Sandwich Constructions”. En concreto:

- Sec. 5 Paneles Sándwich
- Sec. 6 Laminado Monolítico
- Sec. 7 Refuerzos

De esta manera, tras definir la composición laminado y sus propiedades mecánicas, se ha procedido a comprobar el cumplimiento de los requisitos generales para cada elemento en función de su posición en el buque, considerando la sección y la exposición a unas determinadas cargas. Así una plancha de fondo en la zona de proa se verá verificada por cargas debida a la presión del mar y slamming; cargas de mayor valor que las solicitaciones que sufrirá una plancha de la superestructura puente, por ejemplo.

Esta metodología se ha realizado mediante la hoja de cálculo “DNV Estructura”.

A continuación se detallan los requisitos generales analizados para la verificación del escantillonado en aras de confiar en la seguridad de la estructura.



### 10.1.1. Paneles Sándwich

#### 10.1.1.1. Contenido en fibra por volumen

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.5 A103, el laminado de paneles sandwich tiene al menos un 25% de fibra por volumen.

#### 10.1.1.2. Propiedades del material núcleo

Las propiedades mecánicas del material núcleo de paneles sándwich cumple con los requisitos mínimos dados en la siguiente tabla (A104):

<b>Table A1</b>		
<i>Structural member</i>	<i>Core properties (N/mm<sup>2</sup>)</i>	
	<i>Shear strength</i>	<i>Compression strength</i>
Hull bottom below deepest WL	0.8	0.9
Hull side and transom above deepest WL	0.8	0.9
Weather deck not intended for cargo	0.5	0.6
Cargo deck	0.8	0.9
Accommodation deck	0.5	0.6
Structural/watertight bulkheads	0.5	0.6
Superstructures and deck-houses	0.5	0.6
Tank bulkheads	0.5	0.6

Tabla 19. Requisitos mínimos para material núcleo

#### 10.1.1.3. Cantidad de refuerzos por unidad de área

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.5 A106, la cantidad de refuerzos por unidad de área en paneles sándwich no será menor de:

$$\begin{aligned}
 W &\geq W_0 (1 + k (L-20)) && \text{for } L > 20 \text{ m} \\
 W &= W_0 && \text{for } L \leq 20 \text{ m}
 \end{aligned}$$

donde:

- $W$  = masa de refuerzo por unidad de área en g/m<sup>2</sup>



- $W_0$  = mínimos requisitos de cantidad de refuerzo según la tabla A2
- $K$  = factor según tabla A2
- $L$  = eslora entre perpendiculares

<b>Table A2 Minimum requirements for amount of reinforcement</b>			
	$W_0$ (g/m <sup>2</sup> )		$k$
	<i>Glass</i>	<i>Carbon/ Aramid</i>	
Hull bottom, transom, outside of hull	2400	1600	0.025
Hull side, above deepest WL	1600	1100	0.025
Hull bottom and side, inside of hull	1600	1100	0.013
Stem and keel, (width to be defined)	6000	4000	0.025
Weather deck (not for cargo)	1600	1100	0.0
Wet deck	1600	1100	0.0
Cargo deck	3000	2000	0.013
Accommodation deck, if adequately protected	1200	800	0.0
Accommodation deck, other	1600	1100	0.0
Decks, underside skin	750	500	0.0
Tank bulkheads	1600	1100	0.0
Structural bulkheads	1200	800	0.0
Watertight bulkheads	1600	1100	0.0
Superstructure and deckhouse, outside	1200	800	0.013
Inside void spaces without normal access	750	500	0.0

Tabla 20. Requisitos mínimos de cantidad de refuerzo

#### 10.1.1.4. Tensiones a flexión, cortantes y deformación

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.5 B201, la tensión flexión máxima en el núcleo en los puntos medios de las caras de los paneles sándwich sometidos a presión lateral:

$$\sigma_n = \frac{160 p b^2}{W} C_N C_1 \text{ (N/mm}^2 \text{)}$$

donde:

- $p$  = presión de diseño en kN/m<sup>2</sup>



- $b$  = lado corto del panel en m
- $W$  = Módulo de la sección del panel sándwich en  $\text{mm}^3/\text{mm}$
- $C_N = C_2 + \nu C_3$  para esfuerzos paralelos al lado largo del panel
- $C_N = C_3 + \nu C_2$  para esfuerzos paralelos al lado corto del panel
- $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  son coeficientes de contorno basados en aproximaciones polinómicas en función de las características de los empotramientos de los bordes.

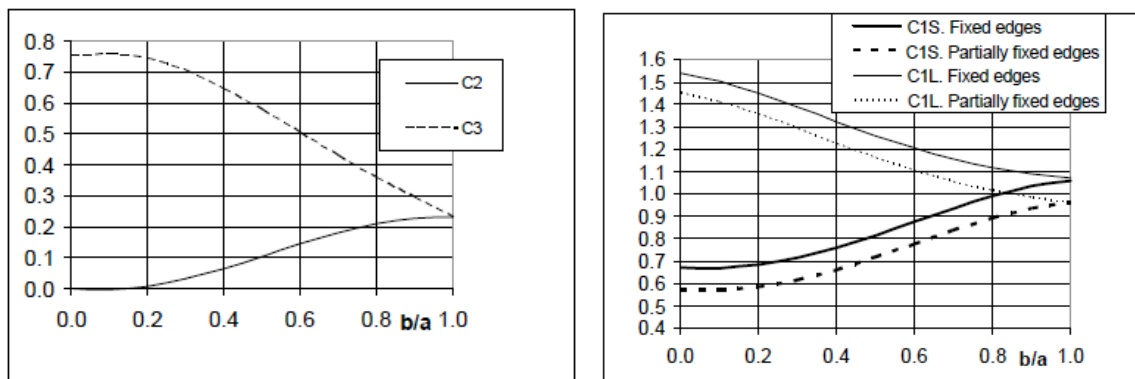


Figura 12. Coeficientes de formas  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  paneles sándwich

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.5 B202, la tensión cortante máxima en el núcleo en los puntos medios de las caras de los paneles sándwich sometidos a presión lateral es:

$$\tau_c = \frac{0.52 p b}{d} C_S \quad (\text{N/mm}^2)$$

donde:

- $p$  = presión de diseño en  $\text{kN/m}^2$
- $b$  = lado corto del panel en m
- $d$  = distancia entre centros de las pieles del panel sándwich
- $C_S = C_4$  para tensión cortante en el punto medio de la cara largo del panel
- $C_S = C_5$  para tensión cortante en el punto medio de la cara corta del panel

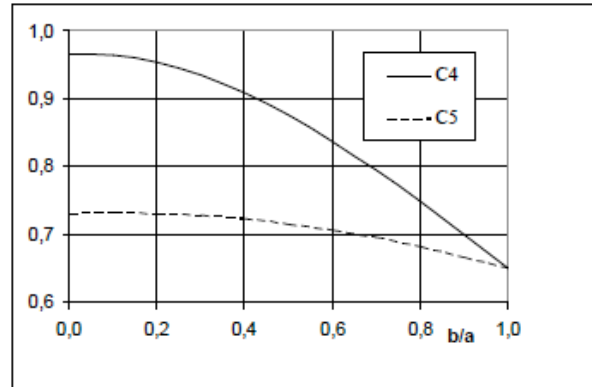


Figura 13. Coeficientes de formas  $C_4$  y  $C_5$  paneles sándwich

#### 10.1.1.5. Pandeo

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.5 B300, los esfuerzos por pandeo local crítico en las pieles expuestas a compresión viene dado por:

$$\sigma_{cr} = 0.5 (E E_C G_C)^{\frac{1}{3}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

donde:

- $E$  = Módulo de elasticidad del laminado FRP en N/mm<sup>2</sup>
- $E_C$  = Módulo de elasticidad del núcleo en N/mm<sup>2</sup>
- $G_C$  = Módulo a cortante del núcleo en N/mm<sup>2</sup>

#### 10.1.1.6. Flechas

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.5 B400, las flechas en el punto medio de un panel plano viene dado por:

$$w = \frac{10^6 p b^4}{D_2} (C_6 C_8 + \rho C_7)$$

donde:



- $p$  = presión de diseño en  $\text{kN/m}^2$
- $b$  = lado corto del panel en  $\text{m}$
- $C_6$ ,  $C_7$  y  $C_8$  son coeficientes de contorno basados en aproximaciones polinómicas en función de las características de los empotramientos de los bordes.
- $\rho$

$$\rho = \frac{\pi^2 D_2}{10^6 G_C d b^2}$$

Para paneles con laminados de diferentes espesores y módulos de elasticidad, donde 1 y 2 son los índices de la piel interior y la piel exterior respectivamente:

$$D_2 = \frac{E_1 E_2 t_1 t_2 d^2}{(1 - \nu^2) (E_1 t_1 + E_2 t_2)}$$

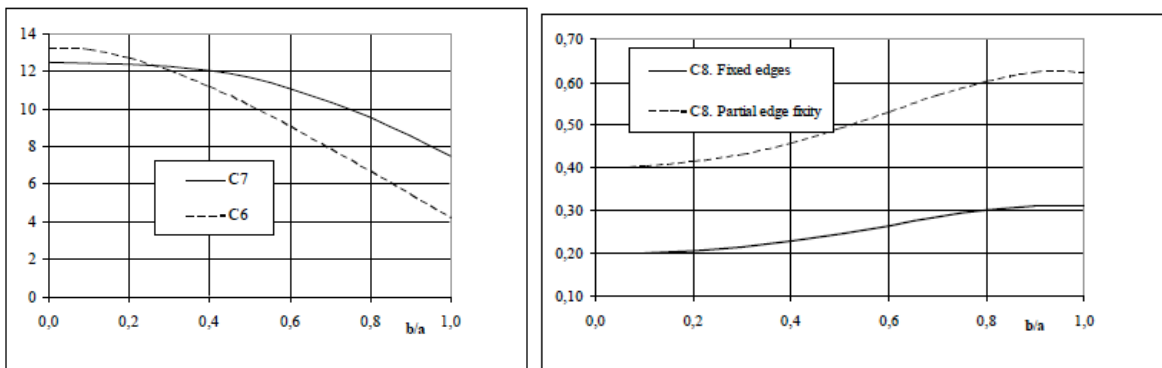


Figura 14. Coeficientes de formas  $C_6$ ,  $C_7$  y  $C_8$  paneles sándwich

#### 10.1.1.7. Esfuerzos y flechas permitidas

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.5 B500, los máximos valores permitidos de tensión a flexión, tensión cortante y flechas son los dados por la siguiente tabla:



<b>Table A3 Allowable stresses and deflections</b>			
<i>Structural member</i>	$\sigma_n$	$\tau_c$	$w/b$
Bottom panels exposed to sea pressure	$0.3 \sigma_{mu}$	$0.4 \tau_u$	0.02
Bottom panels exposed to slamming loads	$0.3 \sigma_{mu}$	$0.4 \tau_{ud}$	0.02
Remaining bottom and inner bottom	$0.3 \sigma_{mu}$	$0.4 \tau_u$	0.02
Side structures	$0.3 \sigma_{mu}$	$0.4 \tau_u$	0.02
Deck structures	$0.3 \sigma_{mu}$	$0.4 \tau_u$	0.02
Bulkhead structures	$0.3 \sigma_{mu}$	$0.4 \tau_u$	0.02
Superstructures	$0.3 \sigma_{mu}$	$0.4 \tau_u$	0.02
Deckhouses	$0.3 \sigma_{mu}$	$0.4 \tau_u$	0.02
All structures exposed to long time static loads	$0.20 \sigma_{mu}$	$0.15 \tau_u$	0.01

Tabla 21. Esfuerzos y deformaciones permitidas

### 10.1.2. Laminado monolítico

#### 10.1.2.1. Contenido en fibra por volumen

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.6 A201, el laminado de paneles monolítico tiene al menos un 25% de fibra por volumen.

#### 10.1.2.2. Espesor mínimo requerido para paneles monolíticos

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.5 A202, la cantidad de refuerzos por unidad de área en paneles monolíticos no será menor de:

$$\begin{aligned}
 W &\geq W_0 (1 + k (L-20)) & \text{for } L > 20 \text{ m} \\
 W &= W_0 & \text{for } L \leq 20 \text{ m}
 \end{aligned}$$

donde:

- $W$  = masa de refuerzo por unidad de área en g/m<sup>2</sup>
- $W_0$  = mínimos requisitos de cantidad de refuerzo según la tabla A1
- $k$  = factor según tabla A1
- $L$  = eslora entre perpendiculares





<b>Table A1 Minimum amount of reinforcement</b>		
<i>Structural member</i>	<i>W<sub>0</sub> (g/m<sup>2</sup>)</i>	<i>k</i>
Hull bottom below deepest WL or chine whichever is the higher	4200	0.025
Hull side and transom above deepest WL	4200	0.025
Stem and keel to 0.01 L from centreline	7500	0.025
Chine and transom corners to 0.01 L from chine edge	5800	0.025
Bottom aft in way of rudder, shaft braces, and shaft penetrations	6600	0.025
Weather deck not intended for cargo	4200	0.0
Cargo deck	5400	0.013
Accommodation deck	2900	0.0
Structural/watertight bulkheads	4200	0.0
Tank bulkheads	4500	0.0
Other bulkheads	2500	0.0
Superstructures and deckhouses	4200	0.013

Tabla 22. Cantidad mínima de reforzado en paneles monolíticos

#### 10.1.2.3. Cargas laterales sobre laminados monolíticos

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.6 B201, el factor de deflexión del laminado se define como  $\delta = w/t$ . El factor de deflexión viene dado como:

$$\delta = 10^9 \frac{b^4 p}{t^4 E C_1}$$

donde:

- p = presión de diseño en kN/m<sup>2</sup>
- b = lado corto del panel en m
- t = espesor del laminado en mm
- E = Módulo de elasticidad del laminado GRP en N/mm<sup>2</sup>
- C<sub>1</sub> es un coeficiente de contorno basado en aproximaciones polinómicas en función de las características de los empotramientos de los bordes.

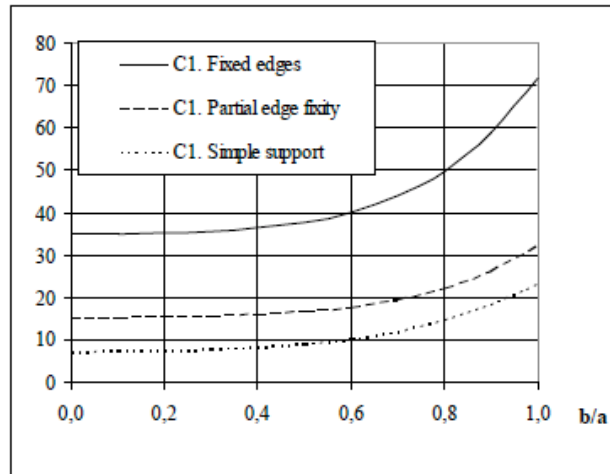


Figura 15. Coeficientes de formas  $C_1$  para laminado monolítico

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.5 B202, el esfuerzo de flexión viene dado por:

$$\sigma = C_3 1000 \frac{b^2}{t^2} p$$

donde:

- $p$  = presión de diseño en  $\text{kN/m}^2$
- $b$  = lado corto del panel en m
- $t$  = espesor del laminado en mm
- $C_3$  es un coeficiente de contorno basado en aproximaciones polinómicas en función de las características de los empotramientos de los bordes.

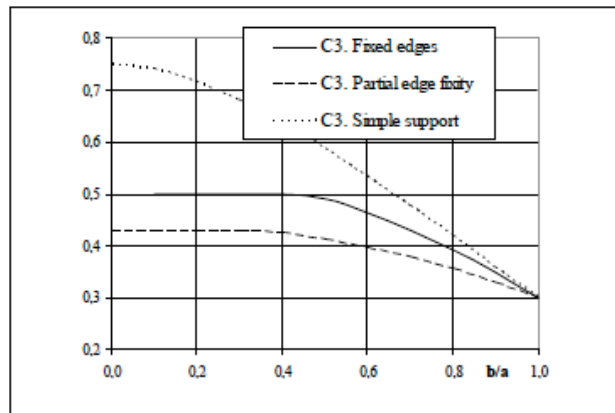


Figura 16. Coeficientes de formas  $C_3$  para laminado monolítico

En el apartado B300 se especifican las tensiones y flechas admisibles excluidos los efectos de membrana.

En el apartado B500 se especifican las tensiones y flechas admisibles incluidos los efectos de membrana.

### 10.1.3. Refuerzos

En base a lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.4 Sec.7 B200, el momento de flexión de un miembro sometido a carga de presión viene dado como:

- Distribución de presiones

$$M = \frac{p b_1 l^2}{c_1} \quad (\text{kNm})$$

- Cargas puntuales

$$M = \frac{F_p l}{c_2} \quad (\text{kNm})$$

donde:

- $p$  = presión de diseño en  $\text{kN/m}^2$
- $b_1$  = ancho del área de carga  $= 0.5 (l_1 + l_2)$
- $l_1$  y  $l_2$  = distancia al centro en m de los paneles soportados



- $F_P$  = carga puntual en kN
- $L$  = longitud del refuerzo en m
- $c_1$  y  $c_2$  = factores de momento flector en función de las condiciones de soportado y posición del refuerzo

## 10.2. Casco central

La estructura del casco central se concibe a partir de un laminado monolítico reforzado transversalmente. Los longitudinales de fondo tendrán continuidad a través de los refuerzos transversales (cuadernas y varengas). Se incluye una vagra central en crujía.

### 10.2.1. Forro

Tipo de Laminado

Monolítico
------------

Espesor total laminado	$e$	26,59 mm
Tensión de rotura laminado	$\sigma_{br}$	154,78 N/mm <sup>2</sup>
Peso laminado	$P$	37,05 Kg/m <sup>2</sup>

### 10.2.2. Refuerzos longitudinales

#### 10.2.2.1. Longitudinales de fondo y costado

Todos los refuerzos diseñados para el Trimarán en materiales compuestos son de tipo Omega con las características presentes en la siguientes figura:

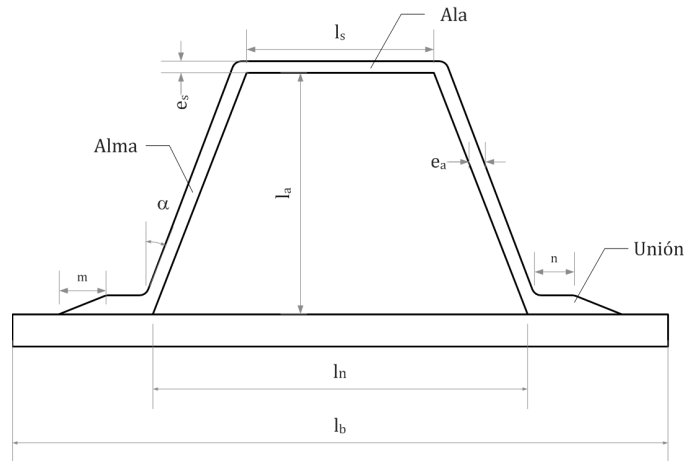


Figura 17. Refuerzo tipo

Anchura de la base del refuerzo	$l_n$	80,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	$l_s$	60,00 mm
Altura del alma del refuerzo	$l_a$	80,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	14,04 °
Espesor del ala del refuerzo	$e_s$	5,35 mm
Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	11,04 mm
Altura total	$T$	120,71 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	91,04 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	71,04 mm
Peso por un. long. refuerzo con plancha	$P$	21,88 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	$P_1$	1,00 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	157,99 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	$Z$	116,02 cm <sup>3</sup>

#### 10.2.2.2. Vagra central

Anchura de la base del refuerzo	$l_n$	200,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	$l_s$	160,00 mm
Altura del alma del refuerzo	$l_a$	160,00 mm



Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	14,04 °
Espesor del ala del refuerzo	$e_s$	6,05 mm
Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	12,48 mm
Altura total	$T$	192,65 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	212,48 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	172,48 mm
Peso por un. long. refuerzo con plancha	$P$	15,57 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	$P_1$	8,02 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	182,67 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	$Z$	422,59 cm <sup>3</sup>

### 10.2.3. Refuerzos transversales

#### 10.2.3.1. Cuadernas y varengas

Anchura de la base del refuerzo	$l_n$	120,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	$l_s$	100,00 mm
Altura del alma del refuerzo	$l_a$	100,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	11,31 °
Espesor del ala del refuerzo	$e_s$	7,82 mm
Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	15,17 mm
Altura total	$T$	134,41 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	135,17 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	115,17 mm
Peso por un. long. refuerzo con plancha	$P$	7,57 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	$P_1$	3,06 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	190,81 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	$Z$	226,67 cm <sup>3</sup>



### 10.3. Cascos laterales

La estructura de los cascos laterales se mantiene idéntica al casco central.

#### 10.3.1. Forro

Tipo de Laminado	Monolítico	
Espesor total laminado	$e$	29,61 mm
Tensión de rotura laminado	$\sigma_{br}$	146,31 N/mm <sup>2</sup>
Peso laminado	$P$	40,50 Kg/m <sup>2</sup>

#### 10.3.2. Refuerzos longitudinales

##### 10.3.2.1. Longitudinales de costado

Anchura de la base del refuerzo	$l_n$	80,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	$l_s$	60,00 mm
Altura del alma del refuerzo	$l_a$	80,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	14,04 °
Espesor del ala del refuerzo	$e_s$	5,35 mm
Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	11,04 mm
Altura total	$T$	120,71 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	91,04 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	71,04 mm
Peso por un. long. refuerzo con plancha	$P$	21,88 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	$P_1$	1,00 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	157,99 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	$Z$	116,02 cm <sup>3</sup>



### 10.3.3. Refuerzos transversales

#### 10.3.3.1. Cuadernas

Anchura de la base del refuerzo	$l_n$	120,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	$l_s$	100,00 mm
Altura del alma del refuerzo	$l_a$	100,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	11,31 °
Espesor del ala del refuerzo	$e_s$	7,44 mm
Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	15,17 mm
Altura total	$T$	134,03 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	135,17 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	115,17 mm
Peso por un. long. refuerzo con plancha	$P$	6,52 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	$P_1$	3,01 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	196,80 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	$Z$	181,73 cm <sup>3</sup>

### 10.4. Cubierta casino

La estructura de la cubierta casino se concibe a partir de un laminado sándwich reforzado transversalmente. La eslora y longitudinales de cubierta tendrán continuidad a través de los refuerzos transversales (baos de cubierta). Se incluye una eslora central en crujía.

#### 10.4.1. Planchas de cubierta

Tipo de Laminado

Sándwich

Espesor total laminado

$e$  41,22 mm





Peso laminado	P	7,68 Kg/m <sup>2</sup>
Módulo resistente del panel completo	Z	4,47 mm <sup>3</sup> /mm
Coeficiente de Poisson del panel	$\nu$	0,25
Espesor piel interior	$e_1$	5,61 mm
Espesor piel exterior	$e_2$	5,61 mm
Espesor del núcleo	c	30,00 mm
Distancia piel interior	$y_1$	17,84 mm
Distancia piel exterior	$y_2$	17,77 mm
Distancia entre centro pieles	d	35,61 mm
Tensión de rotura a flexión de la piel interior	$\sigma_{br}$	142,89 N/mm <sup>2</sup>
Tensión de rotura a flexión de la piel exterior	$\sigma_{br}$	142,89 N/mm <sup>2</sup>
Tensión rotura a cortante del Núcleo	$\tau_u$	1,20 N/mm <sup>2</sup>
Módulo Young del Núcleo	$E_c$	83,70 N/mm <sup>2</sup>
Módulo a cortante del Núcleo	$G_c$	30,00 N/mm <sup>2</sup>

#### 10.4.2. Refuerzos longitudinales

##### 10.4.2.1. Longitudinales de cubierta

Anchura de la base del refuerzo	$l_n$	80,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	$l_s$	60,00 mm
Altura del alma del refuerzo	$l_a$	80,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	14,04 °
Espesor del ala del refuerzo	$e_s$	5,35 mm
Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	11,04 mm
Altura total	T	90,97 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	91,04 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	71,04 mm



Peso por un. long. refuerzo con plancha	P	5,38 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	P <sub>1</sub>	1,00 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	157,95 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	Z	64,50 cm <sup>3</sup>

#### 10.4.2.2. Esloras de cubierta

Anchura de la base del refuerzo	l <sub>n</sub>	200,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	l <sub>s</sub>	160,00 mm
Altura del alma del refuerzo	l <sub>a</sub>	160,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	14,04 °
Espesor del ala del refuerzo	e <sub>s</sub>	6,05 mm
Espesor del alma del refuerzo	e <sub>a</sub>	12,48 mm
Altura total	T	171,67 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	a <sub>base</sub>	212,48 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	a <sub>ala</sub>	172,48 mm
Peso por un. long. refuerzo con plancha	P	9,59 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	P <sub>1</sub>	8,02 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	208,49 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	Z	188,88 cm <sup>3</sup>

#### 10.4.3. Refuerzos transversales

##### 10.4.3.1. Baos

Anchura de la base del refuerzo	l <sub>n</sub>	120,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	l <sub>s</sub>	100,00 mm
Altura del alma del refuerzo	l <sub>a</sub>	100,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	11,31 °
Espesor del ala del refuerzo	e <sub>s</sub>	6,05 mm



Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	12,35 mm
Altura total	$T$	111,67 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	132,35 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	112,35 mm
Peso por un. long. refuerzo con plancha	$P$	3,45 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	$P1$	2,44 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	208,36 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	$Z$	117,37 cm <sup>3</sup>

### 10.5. Cubierta pasaje

La estructura de la cubierta pasaje se concibe a partir de un laminado sándwich reforzado transversalmente. Las esloras y longitudinales de cubierta tendrán continuidad a través de los refuerzos transversales (baos de cubierta). Se incluye dos esloras intermedias de iguales dimensiones a los baos.

#### 10.5.1. Planchas de cubierta

Tipo de Laminado	Sándwich	
Espesor total laminado	$e$	41,22 mm
Peso laminado	$P$	17,76 Kg/m <sup>2</sup>
Módulo resistente del panel completo	$Z$	169,33 mm <sup>3</sup> /mm
Coeficiente de Poisson del panel	$\nu$	0,25
Espesor piel interior	$e_1$	5,61 mm
Espesor piel exterior	$e_2$	5,61 mm
Espesor del núcleo	$c$	30,00 mm
Distancia piel interior	$y_1$	17,84 mm
Distancia piel exterior	$y_2$	17,77 mm



Distancia entre centro pieles	$d$	35,61 mm
Tensión de rotura a flexión de la piel interior	$\sigma_{br}$	142,89 N/mm <sup>2</sup>
Tensión de rotura a flexión de la piel exterior	$\sigma_{br}$	142,89 N/mm <sup>2</sup>
Tensión rotura a cortante del Núcleo	$\tau_u$	1,20 N/mm <sup>2</sup>
Módulo Young del Núcleo	$E_c$	83,70 N/mm <sup>2</sup>
Módulo a cortante del Núcleo	$G_c$	30,00 N/mm <sup>2</sup>

### 10.5.2. Refuerzos longitudinales

#### 10.5.2.1. Longitudinales de cubierta

Anchura de la base del refuerzo	$l_n$	80,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	$l_s$	60,00 mm
Altura del alma del refuerzo	$l_a$	80,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	14,04 °
Espesor del ala del refuerzo	$e_s$	5,35 mm
Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	11,04 mm
Altura total	$T$	90,97 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	91,04 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	71,04 mm
Peso por un. long. refuerzo con plancha	$P$	6,42 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	$P_1$	1,00 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	155,74 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	$Z$	66,12 cm <sup>3</sup>

#### 10.5.2.2. Esloras de cubierta

Anchura de la base del refuerzo	$l_n$	200,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	$l_s$	160,00 mm



Altura del alma del refuerzo	$l_a$	160,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	14,04 °
Espesor del ala del refuerzo	$e_s$	6,05 mm
Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	12,48 mm
Altura total	$T$	171,67 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	212,48 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	172,48 mm
Peso por un. long. refuerzo con plancha	$P$	9,61 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	$P_1$	8,02 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	208,34 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	$Z$	189,84 cm <sup>3</sup>

### 10.5.3. Refuerzos transversales

#### 10.5.3.1. Baos

Anchura de la base del refuerzo	$l_n$	120,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	$l_s$	100,00 mm
Altura del alma del refuerzo	$l_a$	100,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	11,31 °
Espesor del ala del refuerzo	$e_s$	6,05 mm
Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	12,35 mm
Altura total	$T$	111,67 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	132,35 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	112,35 mm
Peso por un. long. refuerzo con plancha	$P$	3,67 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	$P_1$	2,44 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	204,65 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	$Z$	138,53 cm <sup>3</sup>



## 10.6. Cubierta puente

La estructura de la cubierta puente se concibe a partir de un laminado sándwich reforzado transversalmente. Las esloras y longitudinales de cubierta tendrán continuidad a través de los refuerzos transversales (baos de cubierta). Se incluye dos esloras intermedias de iguales dimensiones a los baos.

### 10.6.1. Planchas de cubierta

Tipo de Laminado	Sándwich	
Espesor total laminado	$e$	46,22 mm
Peso laminado	$P$	18,16 Kg/m <sup>2</sup>
Módulo resistente del panel completo	$Z$	195,48 mm <sup>3</sup> /mm
Coefficiente de Poisson del panel	$\nu$	0,25
Espesor piel interior	$e_1$	5,61 mm
Espesor piel exterior	$e_2$	5,61 mm
Espesor del núcleo	$c$	35,00 mm
Distancia piel interior	$y_1$	20,34 mm
Distancia piel exterior	$y_2$	20,27 mm
Distancia entre centro pieles	$d$	40,61 mm
Tensión de rotura a flexión de la piel interior	$\sigma_{br}$	142,89 N/mm <sup>2</sup>
Tensión de rotura a flexión de la piel exterior	$\sigma_{br}$	142,89 N/mm <sup>2</sup>
Tensión rotura a cortante del Núcleo	$\tau_u$	1,20 N/mm <sup>2</sup>
Módulo Young del Núcleo	$E_c$	83,70 N/mm <sup>2</sup>
Módulo a cortante del Núcleo	$G_c$	30,00 N/mm <sup>2</sup>



## 10.6.2. Refuerzos longitudinales

### 10.6.2.1. Longitudinales de cubierta

Anchura de la base del refuerzo	$l_n$	80,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	$l_s$	60,00 mm
Altura del alma del refuerzo	$l_a$	80,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	14,04 °
Espesor del ala del refuerzo	$e_s$	5,35 mm
Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	11,04 mm
Altura total	$T$	90,97 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	91,04 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	71,04 mm
Peso por un. long. refuerzo con plancha	$P$	5,88 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	$P_1$	1,00 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	156,79 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	$Z$	64,94 cm <sup>3</sup>

### 10.6.2.2. Esloras de cubierta

Anchura de la base del refuerzo	$l_n$	200,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	$l_s$	160,00 mm
Altura del alma del refuerzo	$l_a$	160,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	14,04 °
Espesor del ala del refuerzo	$e_s$	6,05 mm
Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	12,48 mm
Altura total	$T$	171,67 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	212,48 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	172,48 mm



Peso por un. long. refuerzo con plancha	P	9,60 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	P <sub>1</sub>	8,02 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	208,41 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	Z	189,37 cm <sup>3</sup>

### 10.6.3. Refuerzos transversales

#### 10.6.3.1. Baos

Anchura de la base del refuerzo	$l_n$	120,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	$l_s$	100,00 mm
Altura del alma del refuerzo	$l_a$	100,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	11,31 °
Espesor del ala del refuerzo	$e_s$	6,05 mm
Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	12,35 mm
Altura total	T	111,67 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	132,35 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	112,35 mm
Peso por un. long. refuerzo con plancha	P	3,56 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	P <sub>1</sub>	2,44 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	206,51 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	Z	127,43 cm <sup>3</sup>

### 10.7. Superestructura

La estructura de los mamparos de la superestructura se concibe a partir de un laminado sándwich reforzado transversalmente. Las longitudinales tendrán continuidad a través de los refuerzos transversales (cuadernas).





### 10.7.1. Mamparos

Tipo de Laminado	Sándwich	
Espesor total laminado	e	38,93 mm
Peso laminado	P	14,76 Kg/m <sup>2</sup>
Módulo resistente del panel completo	Z	133,80 mm <sup>3</sup> /mm
Coefficiente de Poisson del panel	v	0,25
Espesor piel interior	e <sub>1</sub>	4,47 mm
Espesor piel exterior	e <sub>2</sub>	4,47 mm
Espesor del núcleo	c	30,00 mm
Distancia piel interior	y <sub>1</sub>	17,21 mm
Distancia piel exterior	y <sub>2</sub>	17,26 mm
Distancia entre centro pieles	d	34,47 mm
Tensión de rotura a flexión de la piel interior	$\sigma_{br}$	150,39 N/mm <sup>2</sup>
Tensión de rotura a flexión de la piel exterior	$\sigma_{br}$	150,39 N/mm <sup>2</sup>
Tensión rotura a cortante del Núcleo	$\tau_u$	1,20 N/mm <sup>2</sup>
Módulo Young del Núcleo	E <sub>c</sub>	83,70 N/mm <sup>2</sup>
Módulo a cortante del Núcleo	G <sub>c</sub>	30,00 N/mm <sup>2</sup>

### 10.7.2. Refuerzos longitudinales

#### 10.7.2.1. Longitudinales

Anchura de la base del refuerzo	l <sub>n</sub>	60,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	l <sub>s</sub>	40,00 mm
Altura del alma del refuerzo	l <sub>a</sub>	60,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	18,43 °
Espesor del ala del refuerzo	e <sub>s</sub>	4,97 mm



Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	11,29 mm
Altura total	$T$	69,44 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	71,29 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	51,29 mm
Peso por un. long. refuerzo con plancha	$P$	5,87 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	$P_1$	0,51 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	159,43 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	$Z$	33,49 cm <sup>3</sup>

### 10.7.3. Refuerzos transversales

#### 10.7.3.1. Cuadernas

Anchura de la base del refuerzo	$l_n$	100,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	$l_s$	80,00 mm
Altura del alma del refuerzo	$l_a$	80,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	14,04 °
Espesor del ala del refuerzo	$e_s$	6,05 mm
Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	12,48 mm
Altura total	$T$	90,52 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	112,48 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	92,48 mm
Peso por un. long. refuerzo con plancha	$P$	3,16 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	$P_1$	1,52 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	196,63 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	$Z$	69,74 cm <sup>3</sup>



## 10.8. Puente

La estructura de la superestructura superior se concibe a partir de un laminado sándwich reforzado transversalmente. Los longitudinales tendrán continuidad a través de los refuerzos transversales (cuadernas).

### 10.8.1. Mamparos

Tipo de Laminado	Sándwich	
Espesor total laminado	$e$	38,93 mm
Peso laminado	$P$	14,76 Kg/m <sup>2</sup>
Módulo resistente del panel completo	$Z$	133,80 mm <sup>3</sup> /mm
Coeficiente de Poisson del panel	$\nu$	0,25
Espesor piel interior	$e_1$	4,47 mm
Espesor piel exterior	$e_2$	4,47 mm
Espesor del núcleo	$c$	30,00 mm
Distancia piel interior	$y_1$	17,21 mm
Distancia piel exterior	$y_2$	17,26 mm
Distancia entre centro pieles	$d$	34,47 mm
Tensión de rotura a flexión de la piel interior	$\sigma_{br}$	150,39 N/mm <sup>2</sup>
Tensión de rotura a flexión de la piel exterior	$\sigma_{br}$	150,39 N/mm <sup>2</sup>
Tensión rotura a cortante del Núcleo	$\tau_u$	1,20 N/mm <sup>2</sup>
Módulo Young del Núcleo	$E_c$	83,70 N/mm <sup>2</sup>
Módulo a cortante del Núcleo	$G_c$	30,00 N/mm <sup>2</sup>



## 10.8.2. Refuerzos longitudinales

### 10.8.2.1. Longitudinales

Anchura de la base del refuerzo	$l_n$	120,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	$l_s$	100,00 mm
Altura del alma del refuerzo	$l_a$	100,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	11,31 °
Espesor del ala del refuerzo	$e_s$	4,97 mm
Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	10,14 mm
Altura total	$T$	111,67 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	130,14 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	110,14 mm
Peso por un. long. refuerzo con plancha	$P$	6,89 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	$P_1$	1,96 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	166,47 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	$Z$	105,93 cm <sup>3</sup>

## 10.8.3. Refuerzos transversales

### 10.8.3.1. Cuadernas

Anchura de la base del refuerzo	$l_n$	200,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	$l_s$	160,00 mm
Altura del alma del refuerzo	$l_a$	160,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	14,04 °
Espesor del ala del refuerzo	$e_s$	12,03 mm
Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	21,16 mm
Altura total	$T$	178,73 mm



Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	221,16 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	181,16 mm
Peso por un. long. refuerzo con plancha	P	14,55 Kg/m
Peso por un. long. refuerzo sin plancha	$P_1$	13,95 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	223,46 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	Z	181,41 cm <sup>3</sup>

## 10.9. Mamparos

La estructura de los mamparos se concibe a partir de un laminado sándwich reforzado longitudinalmente con una clara igual a la existente en la zona para los longitudinales de fondo o costado.

### 10.9.1. Planchas

Tipo de Laminado	Sándwich	
Espesor total laminado	e	52,16 mm
Peso laminado	P	20,02 Kg/m <sup>2</sup>
Módulo resistente del panel completo	Z	241,51 mm <sup>3</sup> /mm
Coeficiente de Poisson del panel	$\nu$	0,25
Espesor piel interior	$e_1$	6,08 mm
Espesor piel exterior	$e_2$	6,08 mm
Espesor del núcleo	c	40,00 mm
Distancia piel interior	$y_1$	23,09 mm
Distancia piel exterior	$y_2$	23,00 mm
Distancia entre centro pieles	d	46,08 mm
Tensión de rotura a flexión de la piel interior	$\sigma_{br}$	149,62 N/mm <sup>2</sup>
Tensión de rotura a flexión de la piel exterior	$\sigma_{br}$	149,62 N/mm <sup>2</sup>



Tensión rotura a cortante del Núcleo	$\tau_u$	1,20 N/mm <sup>2</sup>
Módulo Young del Núcleo	$E_c$	83,70 N/mm <sup>2</sup>
Módulo a cortante del Núcleo	$G_c$	30,00 N/mm <sup>2</sup>

### 10.9.2. Refuerzos longitudinales

#### 10.9.2.1. Longitudinales

Anchura de la base del refuerzo	$l_n$	240,00 mm
Anchura del ala del refuerzo	$l_s$	200,00 mm
Altura del alma del refuerzo	$l_a$	200,00 mm
Angulo entre la vertical y el alma	$\alpha$	11,31 °
Espesor del ala del refuerzo	$e_s$	14,17 mm
Espesor del alma del refuerzo	$e_a$	28,91 mm
Altura total	$T$	220,26 mm
Anchura base del refuerzo con espesores	$a_{base}$	268,91 mm
Anchura ala del refuerzo con espesores	$a_{ala}$	228,91 mm
Peso por un. long. ref. con plancha asociada	$P$	39,82 Kg/m
Peso por un. long. ref. sin plancha asociada	$P_1$	33,30 Kg/m
Tensión rotura a flexión ref. con plancha	$\sigma_{br}$	202,06 N/mm <sup>2</sup>
Módulo resistente mínimo del refuerzo	$Z$	880,05 cm <sup>3</sup>



## **11. Cuaderna Maestra**

Una vez determinados los elementos estructurales conforme al apartado 10, se ha procedido a dibujar la Cuaderna Maestra, que se adjunta en plano anexo.



## 12. Comprobación del módulo resistente de la cuaderna maestra

Una vez obtenidos los requisitos mínimos de resistencia de los distintos elementos a efectos de cargas locales, es preciso verificar que la estructura en su conjunto cumple con los requisitos de resistencia longitudinal del buque. Para ello se comprobará que el módulo resistente de la Cuaderna Maestra es mayor al módulo mínimo obtenido a partir de la tensión calculada conforme al escantillonado y el momento flector como el máximo de todas las combinaciones de cargas longitudinales según lo especificado por el DNV en el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” en Pt.3 Ch.1 Sec.3 A801.

De esta forma, el módulo mínimo para verificar la seguridad de la estructura viene dado por el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” del DNV en su Pt. 3 Ch. 4 Sec. 4 “Hull Structural Design, Fibre Composite and Sándwich Constructions”:

$$Z_{\min} = \frac{M_T}{\sigma}$$

donde:

- $M_T$  = momento flector máximo
- $\sigma_a$  = Tensión a flexión adm. máx.

El módulo mínimo de la sección ( $Z_{\min}$ ) es de 1,026 m<sup>3</sup>.

El módulo mínimo de la cuaderna maestra del Trimarán ( $Z$ ) es de **2,191 m<sup>3</sup>**, por lo que se verifica el cumplimiento de requisitos de resistencia longitudinal.

A continuación se detalla el cálculo del módulo resistente de la cuaderna maestra.



Proyecto Fin de Carrera  
Análisis de Viabilidad de un Buque de Gran Eslora en Materiales Compuestos  
Capítulo 3. Cálculo Estructural



ELEMENTO	ESCANTILLON NxSxA (mm)	LONGITUD l (m)	ESPEJOR e (mm)	AREA a (m <sup>2</sup> )	ALTURA h (m)	MOM. 1 ORDEN a·h (m <sup>3</sup> )	MOM. 2 ORDEN a·h <sup>2</sup> (m <sup>4</sup> )	MOM. IN. PR. (m <sup>4</sup> )
Plancha cubierta casino		5,13	41,22	0,0112	3,150	0,0354	0,1114	0,0007
Plancha cubierta pasaje		7,75	41,22	0,0112	6,000	0,0673	0,4040	0,0011
Plancha cubierta puente		6,35	46,22	0,0112	8,500	0,0954	0,8109	0,0011
Plancha super. puente		6,43	38,93	0,0089	9,650	0,0862	0,8318	0,0008
Plancha lateral super.		2,60	38,93	0,0089	10,950	0,0978	1,0710	0,0570
Casco lateral - Costado		1,63	26,59	0,0434	4,995	0,2168	1,0828	0,0096
Casco lateral - Fondo		1,18	26,59	0,0312	4,190	0,1309	0,5486	0,0001
Casco central - Costado		1,70	26,59	0,0451	3,430	0,1546	0,5303	0,0108
Casco central - Fondo		6,20	26,59	0,1647	1,575	0,2595	0,4087	0,0004
Mamparo división		1,61	26,59	0,0428	5,195	0,2224	1,1555	0,0092
Vagra central de fondo	160x140x140			0,0170	0,095	0,0016	0,0002	0,0000
Eslora cubierta casino	120x100x100			0,0170	3,106	0,0529	0,1642	0,0000
Esloras cubierta pasaje	120x100x100			0,0340	5,867	0,1997	1,1715	0,0000
Esloras cubierta puente	120x100x100			0,0340	8,362	0,2846	2,3798	0,0000
Long. cubierta casino	60x40x60			0,0668	3,088	0,2063	0,6369	0,0000
Long. cubierta pasaje	60x40x60			0,0747	5,940	0,4435	2,6341	0,0000
Long. cubierta puente	60x40x60			0,0668	8,434	0,5634	4,7513	0,0000
Long. casco central 1	100x80x80			0,0079	0,217	0,0017	0,0004	0,0000
Long. casco central 2	100x80x80			0,0079	0,411	0,0032	0,0013	0,0000
Long. casco central 3	100x80x80			0,0079	0,616	0,0048	0,0030	0,0000
Long. casco central 4	100x80x80			0,0079	0,835	0,0066	0,0055	0,0000
Long. casco central 5	100x80x80			0,0079	1,073	0,0084	0,0090	0,0000
Long. casco central 6	100x80x80			0,0079	1,344	0,0106	0,0142	0,0000
Long. casco central 7	100x80x80			0,0079	1,654	0,0130	0,0215	0,0000
Long. casco central 8	100x80x80			0,0079	2,009	0,0158	0,0317	0,0000
Long. casco central 9	100x80x80			0,0079	2,432	0,0191	0,0465	0,0000
Long. casco central 10	100x80x80			0,0079	2,950	0,0232	0,0684	0,0000
Long. casco central 11	100x80x80			0,0079	3,453	0,0271	0,0937	0,0000
Long. casco central 12	100x80x80			0,0079	3,920	0,0308	0,1208	0,0000
Long. casco central 13	100x80x80			0,0079	4,156	0,0327	0,1357	0,0000
Long. superestr 1	100x80x80			0,0137	10,81	0,1478	1,5981	0,0000
Long. superestr 2	100x80x80			0,0137	10,76	0,1472	1,5834	0,0000
Long. superestr 3	100x80x80			0,0137	10,73	0,1467	1,5746	0,0000
Long. superestr 4	100x80x80			0,0137	10,68	0,1461	1,5599	0,0000
Long. superestr 5	100x80x80			0,0137	10,6	0,1450	1,5366	0,0000
Long. superestr 6	100x80x80			0,0137	10,49	0,1435	1,5049	0,0000
Long. superestr 7	100x80x80			0,0137	10,35	0,1415	1,4650	0,0000
Long. superestr 8	100x80x80			0,0137	10,17	0,1391	1,4145	0,0000



Long. superestr 9	100x80x80			0,0137	9,96	0,1362	1,3567	0,0000
Long. superestr 10	100x80x80			0,0137	9,68	0,1324	1,2815	0,0000
Long. superestr 11	100x80x80			0,0137	9,31	0,1273	1,1854	0,0000
Long. superestr 12	100x80x80			0,0137	8,92	0,1220	1,0882	0,0000
<b>TOTALES</b>				<b>0,6970</b>		<b>3,1199</b>	<b>18,6931</b>	<b>0,0910</b>

Tabla 23. Comprobación del módulo de la cuaderna maestra

Altura del eje neutro	$h_{EN}$	4,476 m
Momento de inercia eje zz	$1/2 I_{zz}$	18,784 m <sup>4</sup>
Momento de inercia media secc.	$1/2 I$	4,820 m <sup>4</sup>
Momento de inercia sección	$I$	9,640 m <sup>4</sup>
Área de la sección	$A$	1,394 m <sup>2</sup>
Módulo sección cubierta	$Z_C$	2,396 m <sup>3</sup>
Módulo sección quilla	$Z_Q$	2,154 m <sup>3</sup>
Módulo sección mínimo	$Z_{\min} \text{ (sección)}$	2,154 m <sup>3</sup>

Módulo sección mínimo	$Z_{\min}$	0,687 m <sup>3</sup>
Momento flector	$M_T$	39381,39 kNm
Tensión máxima admisible	$\sigma_{\max}$	57362,45 kN/m <sup>2</sup>

Por tanto, se verifica el cumplimiento del módulo mínimo de la cuaderna maestra.



## **13. Bibliografía**

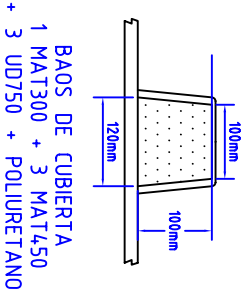
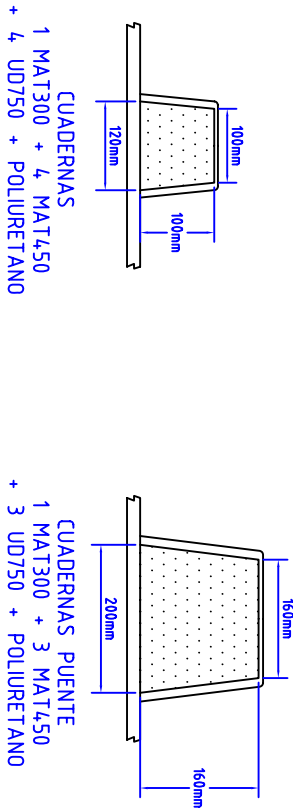
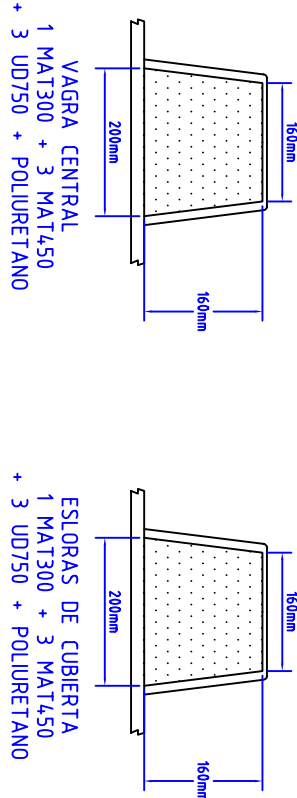
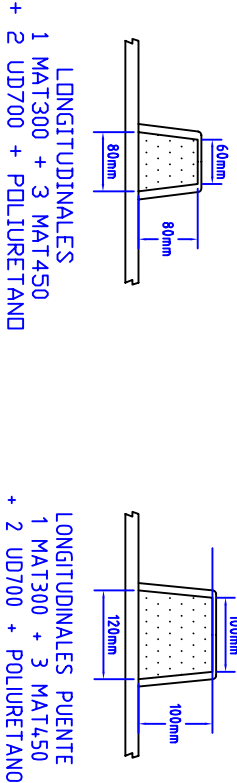
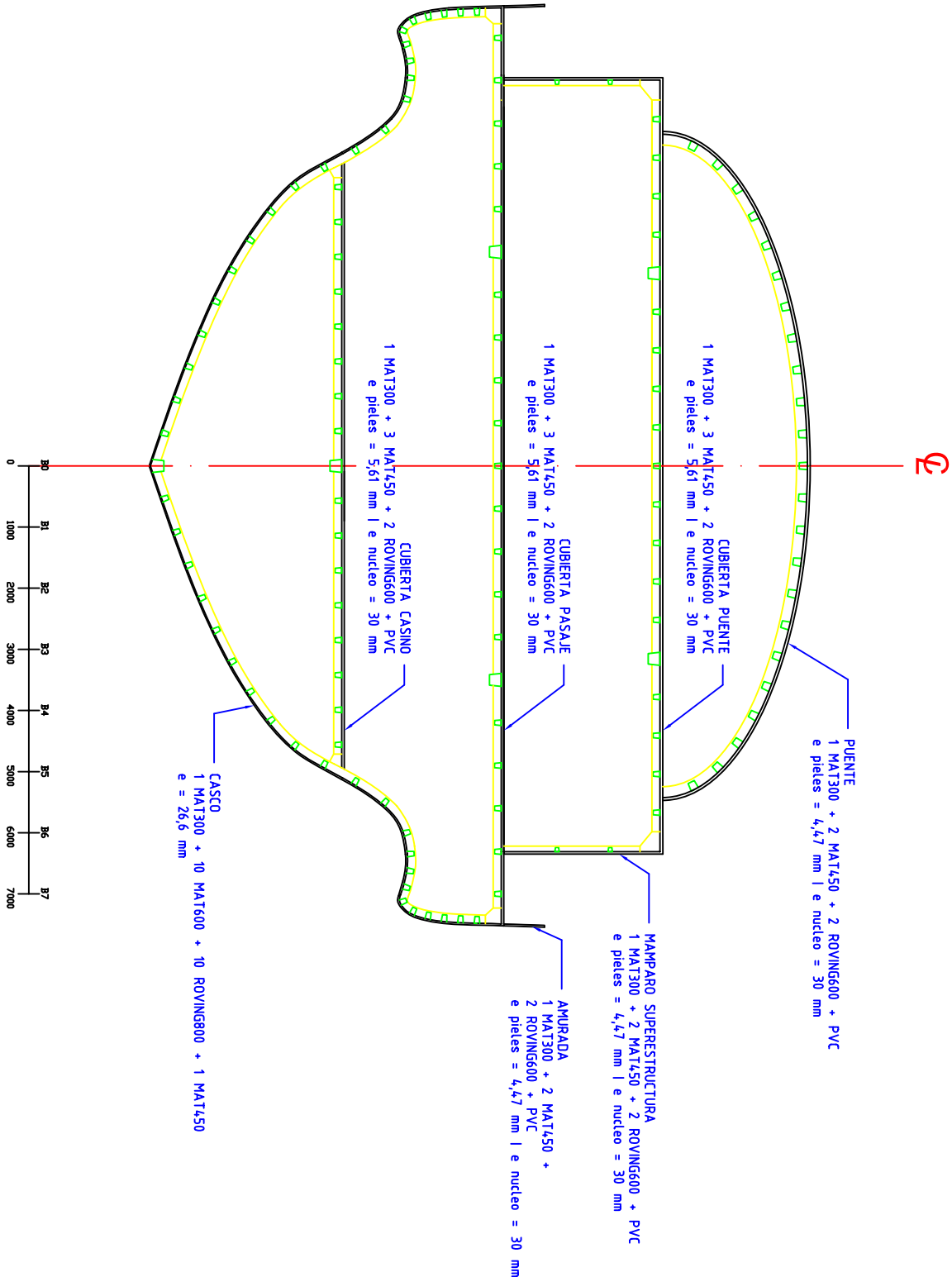
### Escrita

- Proyecto nº 1664 “Trimarán de pasaje en aluminio”. J.P. ORTEGA y R. PÉREZ. ETSIN, Universidad Politécnica de Madrid.
- Apuntes de “Cálculo Avanzado de Estructuras”, J.A. MARTÍNEZ. Universidad Politécnica de Cartagena
- “Materiales Compuestos. Tecnología de los plásticos reforzados”, J.L. GONZALEZ , F.E.I.N.
- “Composite Materials in Maritime Structures”, R.A. SHENOI y J.F. WELLICOME
- Reglamento Bureau Veritas
- Reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft”, DET NORSKE VERITAS.

### Internet

- <http://www.nytimes.com/1987/08/11/us/navy-reverting-to-steel-in-shipbuilding-after-cracks-in-aluminum.html>

CUADERNA MAESTRA  
(SECCION MEDIA DEL BUQUE)



CLASIFICACIÓN

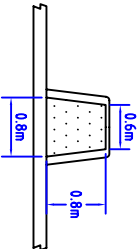
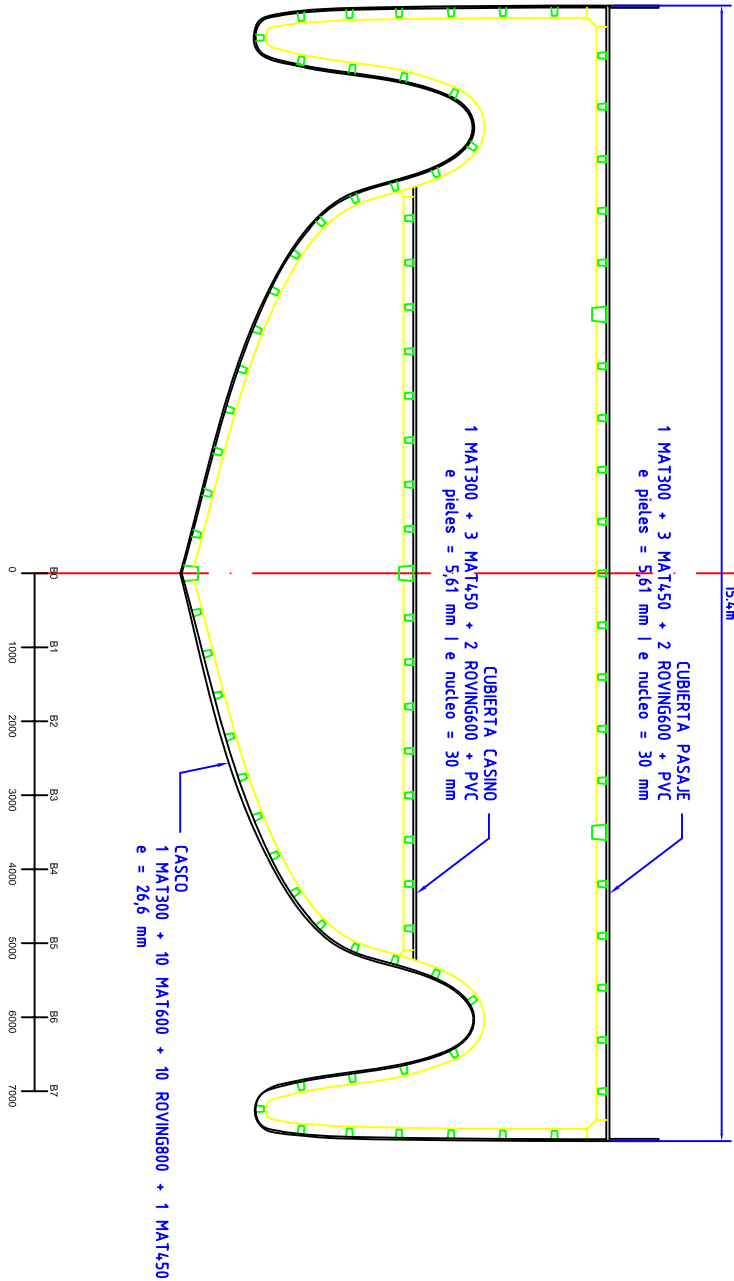
DET NORRSKE VERITAS  
1A1 HSLC R0 Passenger E0

DATOS PRINCIPALES

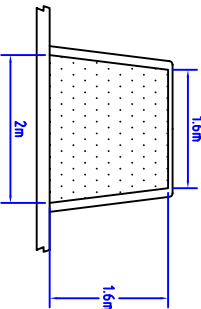
Esloza entre perpendiculares = 50,00 m  
Manga = 15,50 m  
Calado = 2,75 m  
Peso muerto = 88,75 tn  
Peso en rosca = 709,29 tn  
Desplazamiento = 831,36 tn  
Coeficiente de bloque = 0,463  
Puntal a la Cubierta Superior = 5,80 m  
Puntal a la Cubierta Puente = 8,40 m  
Puntal a la Cubierta Principal o Casino = 3,15 m  
Francobordo = 6,50 m  
Clara entre cuadernas = 1 m

	Nombre y Apellidos		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERIA NAVAL Y OCEÁNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA	
Dibujado	José Luis Sáez Hernández			
Comprob	Germán Romero Valiente			
Escala	CUADERNA MAESTRA TRIMARÁN 50 MATERIALES COMPUESTOS		Nº  T-FRP.001	
1:100				
				Sustituye a:
				Sustituido por:

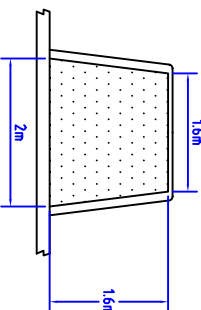
CUADERNA ESPEJO POPA  
(SECCIÓN CDNA. 0)



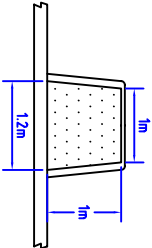
LONGITUDINALES  
1 MAT300 + 3 MAT450  
+ 2 UD700 + POLIURETANO



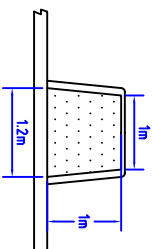
VAGRA CENTRAL  
1 MAT300 + 3 MAT450  
+ 3 UD750 + POLIURETANO



ESLORAS DE CUBIERTA  
1 MAT300 + 3 MAT450  
+ 3 UD750 + POLIURETANO



CUADERNAS  
1 MAT300 + 4 MAT450  
+ 4 UD750 + POLIURETANO



BAOS DE CUBIERTA  
1 MAT300 + 3 MAT450  
+ 3 UD750 + POLIURETANO

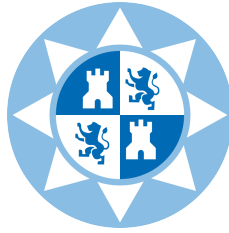
CLASIFICACIÓN

DET NORRSKE VERITAS  
1A1 HSLC R0 Passenger E0

DATOS PRINCIPALES

Esloza entre perpendiculares = 50,00 m  
Manga = 15,50 m  
Calado = 2,75 m  
Peso muerto = 88,75 tn  
Peso en rosca = 709,29 tn  
Desplazamiento = 831,36 tn  
Coeficiente de bloque = 0,463  
Puntal a la Cubierta Superior = 5,80 m  
Puntal a la Cubierta Puente = 8,40 m  
Puntal a la Cubierta Principal o Casino = 3,15 m  
Francobordo = 6,50 m  
Clara entre cuadernas = 1 m

	Nombre y Apellidos		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERIA NAVAL Y OCEÁNICA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
Dibujado	José Luis Sáez Hernández		
Comprob	Germán Romero Valiente		
Escala	CUADERNA 0 - ESPEJO POPA TRIMARÁN 50 MATERIALES COMPUESTOS		Nº
1:100			T-FRP.002
			Sustituye a:
			Sustituido por:



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**  
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

**Proyecto Fin de Carrera**  
**ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE UN**  
**BUQUE DE GRAN ESLORA EN**  
**MATERIALES COMPUESTOS**

**CAPÍTULO 4**  
**Pesos y Centro de Gravedad**

**JOSÉ LUIS SÁEZ HERNÁNDEZ**



- ESTA PÁGINA HA SIDO INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO -



## Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Peso en Rosca .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. Peso y centro de gravedad de la estructura .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. Peso y centro de gravedad de máquinas .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3. Peso y centro de gravedad de equipos, habitación y casino .....</b>	<b>11</b>
<b>2.4. Obtención del peso y centro de gravedad del buque en rosca .....</b>	<b>13</b>
<b>3. Peso muerto .....</b>	<b>15</b>
<b>4. Bibliografía .....</b>	<b>17</b>





## **Tablas**

Tabla 1. Desglose de pesos de la estructura	7
Tabla 2. Peso y centro de gravedad de la estructura	7
Tabla 3. Peso resto elementos cámara de máquinas	10
Tabla 4. Desglose de pesos de máquinas	10
Tabla 5. Peso y centro de gravedad de máquinas	10
Tabla 6. Peso y centro de gravedad de máquinas	12
Tabla 7. Desglose de pesos de equipos, habitación y casino	12
Tabla 8. Peso y centro de gravedad de equipos, habitación y casino	12
Tabla 9. Desglose del peso en rosca del buque	13
Tabla 10. Peso y centro de gravedad en rosca del buque	13
Tabla 11. Peso y centro de gravedad en rosca del buque referencia en aluminio	13



## 1. Introducción

En el Capítulo 3 de Cálculo Estructural se ha determinado el escantillonado del Proyecto Trimarán intentando minimizar el peso de la estructura del buque con el objetivo de poder obtener beneficios derivados de la reducción del desplazamiento.

En el Capítulo 4 llevaremos a cabo el cálculo del Peso en Rosca de la embarcación conforme a los datos obtenidos en la fase anterior. No vamos a realizar una consideración global propia de etapas iniciales de proyectos. Partimos de la definición del buque, disposición general, cuaderna maestra y una completa definición de las formas y los cálculos principales de arquitectura naval. Es decir, podría corresponder a una etapa final de un proyecto de diseño de un buque.

Este cálculo del peso en rosca y su centro de gravedad es considerado clave en el análisis comparativo objetivo del Proyecto.

El desplazamiento del buque ( $\Delta$ ) se descompone en dos partidas principales, peso en rosca (PR) y peso muerto (PM):

$$\Delta = PR + PM$$

El peso en rosca está integrado por la suma de los pesos del buque listo para navegar excluyendo la carga, el pasaje, la tripulación, los pertrechos y los consumos, pero incluyendo fluidos en equipos y tuberías. El resto es el peso muerto.

Realmente el peso y la posición del centro de gravedad de la rosca de un buque no se conocerá exactamente hasta su puesta a flote mediante la realización de una experiencia de estabilidad.

El peso en rosca del buque puede desglosarse en tres partidas:

- Peso de la estructura: Incluye el peso del casco GRP, cubiertas sándwich, tanques estructurales, mamparos, superestructura, etc.



- Peso de la maquinaria: Incluye los motores propulsores, reductora, waterjets, sistema de combustible, sistema de aire comprimido, grupos auxiliares, sistema de distribución eléctrica, sistema de control de plataforma, ventilación, pañoles y talleres, exhaustación de cámara de máquinas, sentinas, contraincendios, sistema sanitario, etc.
- Peso del equipo, habilitación y casino: Incluye el equipo de amarre y fondeo, equipo de navegación, gobierno, salvamento y contraincendios, habilitación, y una partida especial propia de este tipo de buque, el casino y todos sus elementos.

Para el cálculo del peso en rosca y su centro de gravedad se ha optado por la utilización del método por superficies. Se parte de la masa por metro cuadrado de los laminados o paneles sándwich, así como la masa por metro lineal de los refuerzos. Al haberse desarrollado las formas en CAD se conocen con una buena precisión la longitud y las áreas de las distintas secciones, así como su posición. Se usará el método de Simpson para calcular las distintas partidas de pesos.

Los cálculos realizados para obtener el peso de la estructura pueden ser verificados en la hoja de cálculo “DNV Estructura”.



## 2. Peso en Rosca

### 2.1. Peso y centro de gravedad de la estructura

	Peso (kg)	$x_g$ (m)	$z_g$ (m)	$P \cdot x_g$ (Kg·m)	$P \cdot z_g$ (Kg·m)
Casco Central	26756,70	22,30	2,03	596646,68	54343,71
Cascos Laterales	20667,66	12,29	6,97	254102,18	144066,92
Cubierta Casino	7302,45	19,53	3,15	142608,84	23002,73
Cubierta Pasaje	11123,35	20,68	6,00	230066,33	66740,11
Cubierta Puente	8894,25	21,39	8,50	190278,62	75601,11
Lateral Superestructura	2833,53	16,67	7,10	47225,45	20115,21
Superestructura Puente	7262,55	24,56	9,47	178362,07	68745,68
Longitudinales Fondo	1100,45	22,30	2,03	24538,92	2235,05
Longitudinales Costado	560,21	12,29	6,97	6887,63	3905,04
Longitudinales C. Casino	582,37	19,53	3,15	11373,13	1834,48
Longitudinales C. Pasaje	837,89	20,68	6,00	17330,26	5027,35
Longitudinales C. Puente	672,44	21,39	8,50	14385,76	5715,72
Longitudinales Lateral SE	79,20	16,67	7,10	1319,98	562,23
Longitudinales SE Puente	782,25	24,56	9,47	19211,31	7404,57
Ref. Transversal Casco	2921,72	24,08	4,03	70364,46	11776,81
Ref. Transversal SE	2888,58	24,20	9,04	69889,73	26113,48
Espejo y mamparos	10758,99	14,17	3,79	152420,82	40789,64
<b>Total</b>	<b>106025</b>			<b>2027012</b>	<b>557980</b>

Tabla 1. Desglose de pesos de la estructura

El peso y centro de gravedad de la estructura es:

Peso Estructura	106,02 Tn
$x_g$ (m)	19,12 m
$y_g$ (m)	0,00 m
$z_g$ (m)	5,26 m

Tabla 2. Peso y centro de gravedad de la estructura



## 2.2. Peso y centro de gravedad de máquinas

Atendiendo y respetando el peso y la posición de los elementos del Proyecto original, el peso de la maquinaria se puede dividir en:

- Peso de los motores principales:

El peso de los motores principales es de 9.500 kg/un., según datos del fabricante, lo que hace un total de  $3 \times 9.500 = 28.500$  kg.

El centro de gravedad de los motores respecto a la línea base y a la perpendicular de popa es:

$$x_g = 5,20 \text{ m}$$

$$z_g = 1,23 \text{ m}$$

- Peso de los waterjets:

El peso de los waterjets es de 2.420 kg/un., según datos del fabricante, lo que hace un total de  $3 \times 2.420 = 7.260$  kg.

El centro de gravedad de los waterjets respecto a la línea base y a la perpendicular de popa es:

$$x_g = 0,00 \text{ m}$$

$$z_g = 1,00 \text{ m}$$

- Peso de las reductoras:

El peso de las reductoras es de 950 kg/un., según datos del fabricante, lo que hace un total de  $3 \times 950 = 2.850,00$  kg.

El centro de gravedad de las reductoras respecto a la línea base y a la perpendicular de popa es:

$$x_g = 3,32 \text{ m}$$

$$z_g = 1,20 \text{ m}$$



- Peso de los grupos auxiliares:

El peso de los grupos auxiliares es de 3.500 kg/un., según datos del fabricante, lo que hace un total de  $3 \times 3.500 = 10.500$  kg.

El centro de gravedad de los grupos auxiliares respecto a la línea base y a la perpendicular de popa es:

$$x_g = 11,40 \text{ m}$$

$$z_g = 1,30 \text{ m}$$

- Peso del generador de emergencia:

El peso del generador de emergencia es de 2.500 kg/un., según datos del fabricante. Se instala sobre la cubierta resistente.

El centro de gravedad del generador de emergencia respecto a la línea base y a la perpendicular de popa es:

$$x_g = 11,50 \text{ m}$$

$$z_g = 9,00 \text{ m}$$

- Peso del resto de elementos de cámara de máquina:

	Núm.	Peso unit. (kg)	Peso (kg)
Bomba sistemas generales	2,00	130,00	260,00
Bomba de agua salada	3,00	30,00	90,00
Bomba de sentinas y lastres	3,00	40,00	120,00
Bombas de baldeo CI	4,00	100,00	400,00
Separadora de sentinas	2,00	50,00	100,00
Separadora de combustible	2,00	50,00	100,00
Bomba de combustible	3,00	5,00	15,00
Bomba de achique caja cadenas	2,00	5,00	10,00
Bomba de achique sentinas emer.	2,00	30,00	60,00
Bombas servicios sanitarios	2,00	15,00	30,00
Bomba agua caliente	2,00	5,00	10,00
Bomba agua potable	2,00	30,00	60,00
Bomba agua potable fría	2,00	5,00	10,00
Bomba agua potable caliente	2,00	5,00	10,00



Compresores aire arranque	2,00	60,00	120,00
Cableado eléctrico	1,00	3100,00	3100,00
Tuberías y válvulas	1,00	3200,00	3200,00
Baterías	2,00	35,00	70,00

<b>Total</b>		7765,00
--------------	--	---------

Tabla 3. Peso resto elementos cámara de máquinas

El centro de gravedad del resto de elementos de la cámara de máquinas respecto a la línea base y a la perpendicular de popa se supone en:

$$x_g = 18,00 \text{ m}$$

$$z_g = 1,30 \text{ m}$$

Como hemos visto, los valores correspondientes a la subdivisión correspondiente al peso de máquinas, dentro del peso en rosca, se ha tomado como igual al Proyecto Trimarán nº 1664.

	Peso (kg)	$x_g$ (m)	$z_g$ (m)	$P \cdot x_g$ (Kg·m)	$P \cdot z_g$ (Kg·m)
Motores principales	28500,00	5,20	1,23	148200,00	35055,00
Waterjets	7260,00	0,00	1,00	0,00	7260,00
Reductores	2850,00	3,32	1,20	9462,00	3420,00
Auxiliares	7000,00	11,40	1,30	79800,00	9100,00
Generador Emergencia	2500,00	11,50	9,00	28750,00	22500,00
Resto elementos CM	6765,00	18,00	1,30	121770,00	8794,50
<b>Total</b>	54875,00			387982,00	86129,50

Tabla 4. Desglose de pesos de máquinas

El peso y centro de gravedad de máquinas es:

Peso Máquinas	54,88 Tn
$x_g$ (m)	7,07 m
$y_g$ (m)	0,00 m
$z_g$ (m)	1,57 m

Tabla 5. Peso y centro de gravedad de máquinas



### **2.3. Peso y centro de gravedad de equipos, habilitación y casino**

Atendiendo y respetando el peso y la posición de los elementos del Proyecto original, el peso de equipos, habilitación y casino se puede dividir en:

#### Peso de la habilitación:

- Aseos: Se trata de cabinas modulares de 100 kg cada una. Se prevén 16 aseos para hombres y 16 aseos para mujeres, lo que hace un total de 3.200 kg.
- Asientos pasaje:  $15 \times 250 = 3.750$  kg
- Asientos cafetería:  $7 \times 130 = 910$  kg
- Mesas cafetería:  $15 \times 21 = 315$  kg
- Áreas tripulación:  $2 \times 500 = 1.000$  kg
- Resto de elementos: 30% del peso anterior, 2.750 kg

#### Peso de salvamento:

- Zodiacs de rescate:  $2 \times 153 = 306$  kg
- Balsas salvavidas:  $6 \times 170 = 1.020$  kg
- Equipo contraincendios, equipo de fondeo y amarre: 15.000 kg
- Peso de la pintura: Se calcula teniendo en cuenta la superficie de la obra viva ( $693 \text{ m}^2$ ) y de la obra muerta ( $2.500 \text{ m}^2$ ) del buque, y suponiendo una densidad media de la pintura de  $1,3 \text{ tn/m}^3$ .

#### Peso del casino:

- Se establece una partida única de 500 tn donde se incluyen máquinas tragaperras, mobiliario de juego, elementos de bar y cocina no consumibles, caseta de fichas, sala de club de jugadores y caseta de banco.





Así, el desglose de las partidas correspondientes al peso de equipos, habitación y casino es:

	Núm.	Peso unit. (tn)	Peso (tn)
Pintura	1,00	10,00	10,00
Equipo de fondeo y amarre	1,00	10,00	10,00
Equipo de navegación	1,00	3,00	3,00
Equipo de gobierno	1,00	5,00	5,00
Equipo de salvamento	1,00	5,00	5,00
Equipo contraincendios	1,00	5,00	5,00
Habitación	1,00	12,00	12,00
Casino	1,00	500,00	500,00
<b>Total</b>			<b>550,00</b>

Tabla 6. Peso y centro de gravedad de máquinas

Los valores correspondientes a la subdivisión correspondiente al peso de equipos, habitación y casino, dentro del peso en rosca, se ha tomado como igual al Proyecto Trimarán nº 1664.

	Peso (kg)	$x_g$ (m)	$z_g$ (m)	$P \cdot x_g$ (Kg·m)	$P \cdot z_g$ (Kg·m)
Equipos, Habit. y Casino	550000,00	20,00	3,40	11000000,00	1870000,00
<b>Total</b>	<b>550000,00</b>			<b>11000000,00</b>	<b>1870000,00</b>

Tabla 7. Desglose de pesos de equipos, habitación y casino

El peso y centro de gravedad de equipos, habitación y casino es:

Peso Eq., Habit. y Casino	550,00 Tn
$x_g$ (m)	20,00 m
$y_g$ (m)	0,00 m
$z_g$ (m)	3,40 m

Tabla 8. Peso y centro de gravedad de equipos, habitación y casino



## 2.4. Obtención del peso y centro de gravedad del buque en rosca

Una vez estimadas las partidas intrínsecas al peso en rosca, en peso y posición relativa, se procede a la suma de las mismas para obtener el valor objetivo del peso en rosca y su centro de gravedad. Un peso en rosca que, como hemos comentado al inicio del capítulo, deberá ser verificado en una prueba de estabilidad.

	Peso (kg)	$x_g$ (m)	$z_g$ (m)	$P \cdot x_g$ (Kg·m)	$P \cdot z_g$ (Kg·m)
Estructura Resistente	106025	19,12	5,26	2027012	557980
Máquinas	54875	7,07	1,57	387982	86130
Habilit., Equipos y Casino	550000	20,00	3,40	11000000	1870000
<b>Total</b>	<b>710900</b>			<b>13414994</b>	<b>2514109</b>

Tabla 9. Desglose del peso en rosca del buque

El peso y centro de gravedad en rosca es:

Peso Rosca	<b>710,90 Tn</b>
$x_g$ (m)	<b>18,87 m</b>
$y_g$ (m)	<b>0,00 m</b>
$z_g$ (m)	<b>3,54 m</b>

Tabla 10. Peso y centro de gravedad en rosca del buque

El peso en rosca y centro de gravedad del buque referencia nº 1664 es:

Peso Rosca (Aluminio)	728,75 Tn
$x_g$ (m)	19,41 m
$y_g$ (m)	0,00 m
$z_g$ (m)	3,84 m

Tabla 11. Peso y centro de gravedad en rosca del buque referencia en aluminio

Por tanto se observa que el diseño estructural en materiales compuestos llevado a cabo en este Proyecto ha logrado disminuir el peso de la estructura en 17,85 Tn; así



como bajar la posición vertical del centro de gravedad en 30 cm y retrasar la posición longitudinal del centro de gravedad en 54 cm.



### 3. Peso muerto

El peso muerto del buque se compone de la carga útil, los consumos, la tripulación y el pasaje, y los víveres.

El peso muerto se calcula en la situación de máxima carga, es decir con el máximo de carga útil y el máximo de combustible. Con este condicionante se asegura un margen de seguridad suficiente.

Los valores correspondientes al peso muerto se ha tomado como igual al Proyecto Trimarán nº 1664, el cual se desglosa como sigue:

- Peso del pasaje y la tripulación:

Se consideran 125 kg por persona, partida que incluye equipaje. El trimarán lleva 250 pasajeros y 54 miembros de la tripulación, lo que supone un peso de 38 tn.

- Peso de los pertrechos:

Se consideran 10 tn en base al tamaño del buque, de eslora entre perpendiculares igual a 50 m.

- Peso de los consumos:

Los consumos dependen de la autonomía del buque. La autonomía del mismo es de 500 millas operando en el Mar Mediterráneo. Con la máxima velocidad del trimarán de 42 nudos, esto supone una travesía máxima de 11,9 horas, que aproximando al primer entero serían 12 h.

Los consumos se pueden dividir en:

1. Víveres:



Se considera un valor de 5 kg/persona y día, y para la tripulación de 15 kg/persona y día; siendo la travesía máxima de 12 horas, esto supone un total de 24,72 tn.

2. Agua dulce:

Se consideran 2.500 litros de agua dulce como requisito del proyecto de referencia, que equivalen a 2.500 kg de peso.

3. Combustible:

Se requiere un total de 15.000 litros de combustible. Considerando un peso específico 0,85 tn/m<sup>3</sup>, se obtiene un peso de combustible igual a 12,75 tn.

4. Aceite:

Para el tanque de servicio se estima un peso igual al 3% del peso del combustible de propulsión, lo que supone 0,3825 tn.

Para lubricación es norma habitual disponer de un tanque igual o ligeramente superior al de servicio, por lo que se toma 0,4 tn.

Por tanto, el peso de muerto del trimarán es:

$$PM = 38 + 10 + 24,72 + 2,5 + 12,75 + 0,3825 + 0,4 = 88,7525tn$$



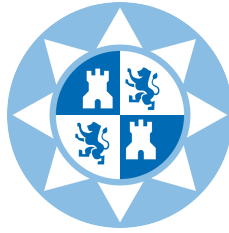
## **4. Bibliografía**

Escrita

- Proyecto nº 1664 “Trimarán de pasaje en aluminio”. J.P. ORTEGA y R. PÉREZ. ETSIN, Universidad Politécnica de Madrid.
- “El proyecto básico del buque mercante”. R. ALVARIÑO, J.J. AZPIROZ y M. MEIZOSO. F.E.I.N.
- Reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft”, Det Norske Veritas.



- ESTA PÁGINA HA SIDO INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO -



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**  
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

**Proyecto Fin de Carrera**  
**ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE UN**  
**BUQUE DE GRAN ESLORA EN**  
**MATERIALES COMPUESTOS**

**CAPÍTULO 5**  
**Situaciones de carga y estabilidad**

**JOSÉ LUIS SÁEZ HERNÁNDEZ**





- ESTA PÁGINA HA SIDO INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO -



## Índice

<b>1. Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Características generales del Trimarán .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Situaciones de carga. Criterios de estabilidad .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Consideraciones generales .....</b>	<b>8</b>
<b>3.2. Situaciones de carga.....</b>	<b>8</b>
<b>3.3. Criterios de estabilidad .....</b>	<b>9</b>
<b>4. Situación de Salida de puerto (100% consumos).....</b>	<b>11</b>
<b>4.1. Condición de carga.....</b>	<b>11</b>
<b>4.2. Posición y estabilidad.....</b>	<b>11</b>
<b>4.3. Curva de estabilidad a grandes ángulos (GZ) .....</b>	<b>13</b>
<b>4.4. Cálculo escora en la posición más desfavorable de los pasajeros.....</b>	<b>16</b>
<b>4.5. Cálculo escora por efecto de una virada .....</b>	<b>17</b>
<b>4.6. Verificación de criterios.....</b>	<b>17</b>
<b>5. Llegada a puerto (10% consumos) .....</b>	<b>18</b>
<b>5.1. Condición de carga.....</b>	<b>18</b>
<b>5.2. Posición y estabilidad.....</b>	<b>18</b>
<b>5.3. Curva de estabilidad a grandes ángulos (GZ) .....</b>	<b>20</b>
<b>5.4. Cálculo escora en la posición más desfavorable de los pasajeros.....</b>	<b>24</b>
<b>5.5. Cálculo escora por efecto de una virada .....</b>	<b>24</b>
<b>5.6. Verificación de criterios.....</b>	<b>24</b>
<b>6. Bibliografía .....</b>	<b>26</b>



## Tablas

Tabla 1. Situación de salida de puerto, con el 100% de consumos	11
Tabla 2. Equilibrio en la situación de salida de puerto, con el 100% de consumos	12
Tabla 3. Estabilidad a grandes ángulos en la situación de salida de puerto, con el 100% de consumos	16
Tabla 4. Verificación de criterios de estabilidad en la situación de salida de puerto, 100% consumos	17
Tabla 5. Situación de llegada de puerto, con el 10% de consumos	18
Tabla 6. Equilibrio en la situación de llegada a puerto, con el 10% de consumos	19
Tabla 7. Estabilidad a grandes ángulos en la situación de llegada a puerto, con el 10% de consumos	23
Tabla 8. Verificación de criterios de estabilidad en la situación de llegada a puerto, 10% consumos	25

## Figuras

Figura 1. Calado en eslora en la situación de salida de puerto, con el 100% de consumos	12
Figura 2. Curva de GZ en la situación de salida de puerto, con el 100% de consumos	13
Figura 3. Calado en eslora en la situación de salida de puerto, con el 100% de consumos	19
Figura 4. Curva de GZ en la situación de llegada a puerto, con el 10% de consumos	20



## 1. Introducción

En el Capítulo 5 del Proyecto se procede al análisis de las distintas situaciones de carga, la estabilidad inicial, estabilidad a grandes ángulos y los criterios de estabilidad exigidos por la Administración para el buque.

La estabilidad transversal de los buques ha de estudiarse con la máxima atención por afectar a la seguridad del buque en la mar, a su capacidad de carga, condiciones marineras y bienestar de pasajeros y dotación.

Comparando las pérdidas de buques atribuidas a falta de resistencia estructural, con las debidas a falta de estabilidad, se observa que la mayor proporción corresponde a estos últimos, sobre todo en buques pequeños.

En el proyecto de un buque parece que se concede mayor atención a la propulsión y a la resistencia estructural que a la estabilidad. Puede estimarse que en el proyecto de buques mercantes ha de tenderse hacia:

- 1) Unas dimensiones y unas formas que aseguren unas condiciones propulsivas óptimas, para el peso muerto y autonomía especificadas.
- 2) Unos escantillones mínimos que aseguren una adecuada resistencia estructural. Estos escantillones se determinan de acuerdo con los reglamentos de las Sociedades de Clasificación.
- 3) Una estabilidad que satisfaga unos ciertos valores mínimos, fijados por la Administración, la experiencia del proyectista o los deseos del Armador.

El problema de fijar unas características mínimas de estabilidad, que aseguren unas condiciones satisfactorias de utilización de los buques, es muy complejo por depender de numerosas variables, lo que ha hecho que los diversos criterios establecidos hasta ahora no hayan sido considerados, en general, como satisfactorios comprobándose después en la práctica la falta de garantía de dichos criterios, al



zozobrar buques cuya estabilidad cumplía con los criterios de estabilidad más conocidos.

En la actualidad, los modernos criterios de estabilidad se basan en el valor de la altura metacéntrica inicial y en las curvas de estabilidad estática para diversas condiciones de carga.



## 2. Características generales del Trimarán

Año	2006
Material de casco	GRP
Material de superestructura	GRP
Tipo de casco	Multicasco (Trimarán)
Eslora total (m)	55,50
Eslora en la flotación (m)	50,42
Manga máxima (m)	15,00
Manga en la flotación (m)	15,31
Calado (m)	2,75
Desplazamiento máx. carga (Tn)	831,36
Desplazamiento media carga (Tn)	751,36
Capacidad de agua dulce (l)	2500
Capacidad de fuel (l)	15.000
Velocidad máxima (Nudos)	42
Velocidad de crucero (Nudos)	15
Clasificación	Det Norske Veritas
Clase	1A1 HSLC R0 Passanger E0



### **3. Situaciones de carga. Criterios de estabilidad**

#### **3.1. Consideraciones generales**

Para todos los estudios de estabilidad del presente Libro de Estabilidad se han considerado como densidades relativas las siguientes:

- Agua dulce =  $1 \text{ tn/m}^3$
- Agua salada =  $1,025 \text{ tn/m}^3$
- Combustible =  $0,830 \text{ tn/m}^3$

#### **3.2. Situaciones de carga**

Las situaciones de carga definen las condiciones operativas del buque, dependientes de los pesos, los volúmenes de los tanques, y de la geometría de la carena, resultando de las mismas los sistemas de carga con los que puede operar el buque, con relación a la estabilidad, la resistencia estructural y otros condicionantes.

El estudio de las condiciones de carga, dentro del proceso iterativo del proyecto, llega hasta la fase de entrega del buque, donde se incluyen las instrucciones al Capitán. Aquí nos limitaremos a la fase de proyecto preliminar, de cara a analizar el cumplimiento de los criterios de estabilidad y su comparativa con respecto al buque de referencia.

El punto de partida del estudio de las situaciones de carga, son las formas y la distribución de espacios, que nos permiten calcular las características hidrostáticas y las capacidades.

También se dispone de las distintas componentes del peso en rosca y de sus centros de gravedad; así como de los pesos y distribución de las distintas componentes del peso muerto. Con estos datos se calcula el desplazamiento y la posición del centro de gravedad con relación a la base y la sección media.



A su vez se tienen en cuenta los tanques con superficie libre, para realizar las correcciones apropiadas, a partir de la geometría del buque y de los cálculos de capacidades y sondas.

Las situaciones de carga que se deben analizar son normalmente las siguientes:

- Situaciones mínimas exigidas por la Administración.
- Situaciones impuestas por el Armador, si existen.
- Otras situaciones de explotación.

Para buques de pasaje se requiere el cálculo como mínimo de las siguientes situaciones:

- 1) Salida de puerto, con el 100% de los consumos, con todos los pasajeros a bordo y con plena carga.
- 2) Llegada a puerto, cargado como en la situación anterior pero con el 10% de los consumos.
- 3) Salida de puerto en lastre, con el 100% de los consumos, sin carga y con todos los pasajeros a bordo.
- 4) Llegada a puerto en la situación anterior pero con el 10% de los consumos.

En base a las características del Trimarán en Proyecto podemos afirmar que las condiciones 1 y 3, así como las 2 y 4, son prácticamente iguales dado que el buque no lleva mas carga que la de sus pasajeros, se procede al análisis únicamente de dos situaciones:

- 1) Salida de puerto, con el 100% de consumos.
- 2) Llegada a puerto, con el 10% de consumos.

### **3.3. Criterios de estabilidad**

La estabilidad intacta para buques de eslora igual o menor a 100 m:





1. Brazo adrizante a  $30^\circ \geq 0.20$  m
2. Brazo adrizante máximo debe producirse a  $\geq 25^\circ$
3. Altura metacéntrica inicial corregida  $\geq 0.15$  m
4. Área bajo la curva de estabilidad hasta  $30^\circ \geq 0.055$  m  $\times$  radian
5. Área bajo la curva de estabilidad hasta  $40^\circ \geq 0.090$  m  $\times$  radian
6. Área bajo la curva de estabilidad entre  $30^\circ$  y  $40^\circ \geq 0.030$  m  $\times$  radian

Adicionalmente como buque de pasaje deberá cumplir con los siguientes criterios:

1. El ángulo de escora producido por la posición más desfavorable de los pasajeros no debe exceder de  $10^\circ$ .
2. El ángulo de escora por efecto de una virada no debe ser superior a  $10^\circ$  cuando se emplea la siguiente fórmula de cálculo:

$$M = 0,02 \cdot \left( \frac{V^2}{L} \right) \cdot \Delta \cdot \left( KG - \frac{T}{2} \right)$$

donde:

M = momento escorante en tn·m

V = velocidad de crucero en m/s

L = eslora en la flotación en m

$\Delta$  = desplazamiento en tn

T = calado medio en m

KG = ordenada del centro de gravedad sobre la quilla en m

El ángulo de inclinación del buque cuando las rejillas de aireación de la cámara de máquinas son alcanzadas por el agua al escorarse es mayor de  $40^\circ$  en cualquier situación; en la condición de salida de puerto 100% consumos su valor es de  $66^\circ$  y en la condición de llegada a puerto 10% consumos su valor es de  $72^\circ$ ; factor a tener en cuenta en el cumplimiento del criterio nº 6.



## 4. Situación de Salida de puerto (100% consumos)

### 4.1. Condición de carga

Para el análisis de la condición de carga, una vez abierto el modelo de Maxsurf en el módulo “Hydromax”, se procede a establecer la siguiente condición de carga (loadcase) en función de los datos obtenidos en el Capítulo de Pesos:

Concepto	Cantidad	Peso (tn)	Brazo long. (m)	Brazo Vert. (m)	Brazo Transv. (m)	Momento SL (tn·m)
Peso Rosca	1	711	19,410	3,840	0,000	0,000
Pasajeros	250	0,0750	21,000	5,800	0,000	0,000
Tripulación	54	0,0750	22,000	5,800	0,000	0,000
Pertrechos	50	0,2500	22,000	5,800	0,000	0,000
Pertrechos trip.	54	0,0500	22,000	5,800	0,000	0,000
Víveres	1	25,00	3,000	3,800	0,000	0,000
Repuestos	1	40,00	22,500	4,000	0,000	0,000
Combustible	1	13,64	8,700	0,995	0,000	0,000
Aceite 1	1	0,4990	6,900	0,468	0,000	0,000
Aceite 2	1	0,704	6,900	0,380	0,000	0,000
Aceite 3	1	0,4990	6,900	0,468	0,000	0,000
Rebose	1	0,566	10,200	0,408	0,000	0,000
Lodos	1	0,708	12,600	0,408	0,000	0,000
Agua Dulce	1	2,448	14,700	0,571	0,000	0,000
<b>Peso total=</b>		<b>833</b>	<b>LCG=18,935</b>	<b>VCG=3,867</b>	<b>TCG=0,000</b>	<b>0</b>
				<b>FS corr.=0</b>		
				<b>VCG fluid=3,867</b>		

Tabla 1. Situación de salida de puerto, con el 100% de consumos

### 4.2. Posición y estabilidad

Una vez establecida la condición de carga conforme al apartado anterior, se procede al análisis de la posición de equilibrio y estabilidad inicial del buque intacto (Equilibrium):

Calado	2,841 m
Desplazamiento	833 tn
Escora a estribor	0,0 Grados
Calado en la Ppr	2,727 m
Calado en la Ppo	2,955 m



Calado en LCF	2,864 m
Trimado (+ por popa)	0,228 m
Eslora en la flotación	50,427 m
Manga en la flotación	15,312 m
Superficie mojada	690,712 m <sup>2</sup>
Área de la flotación	457,307 m <sup>2</sup>
Coefficiente prismático	0,641
Coefficiente de bloque	0,428
Coefficiente de la maestra	0,668
Coefficiente de la flotación	0,712
LCB (+ a proa)	-6,294 m
LCF (+ a proa)	-5,021 m
KB	1,819 m
KG fluid	3,867 m
BMt	5,994 m
BML	94,194 m
GMt	3,946 m
GML	92,145 m
KMt	7,813 m
KML	96,013 m
Toneladas por cm de inmersión	4,688 tn/cm
MTc	15,205 tn·m
Trimado	0,3 Grados

Tabla 2. Equilibrio en la situación de salida de puerto, con el 100% de consumos

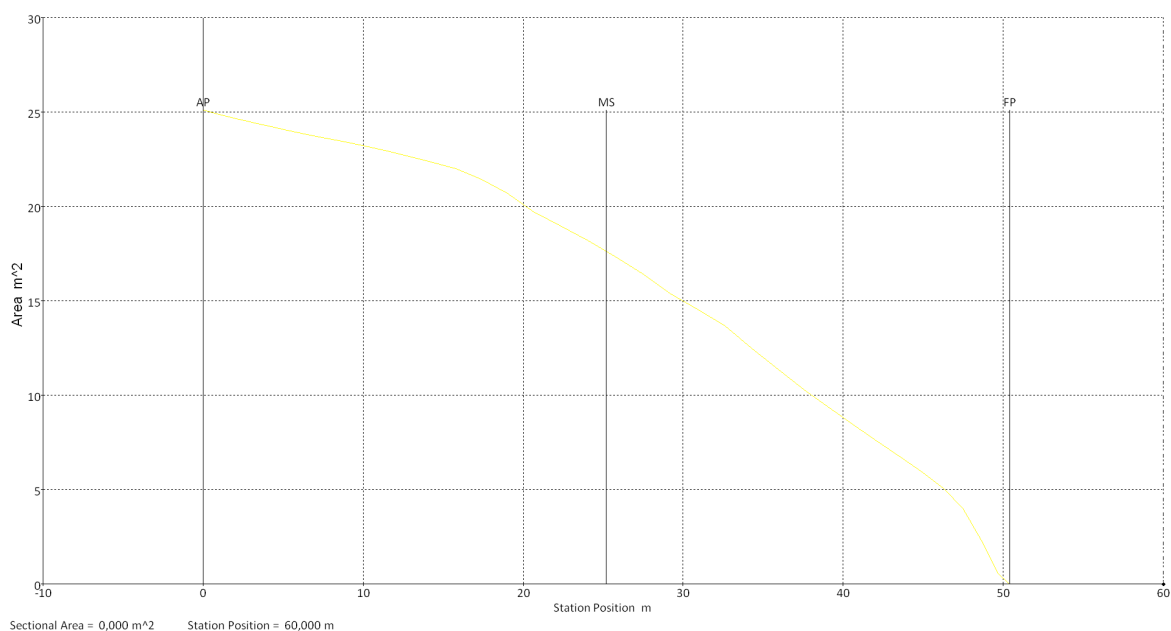


Figura 1. Calado en eslora en la situación de salida de puerto, con el 100% de consumos



#### 4.3. Curva de estabilidad a grandes ángulos (GZ)

En el siguiente paso se procede al análisis de la estabilidad a grandes ángulos (Large angle stability):

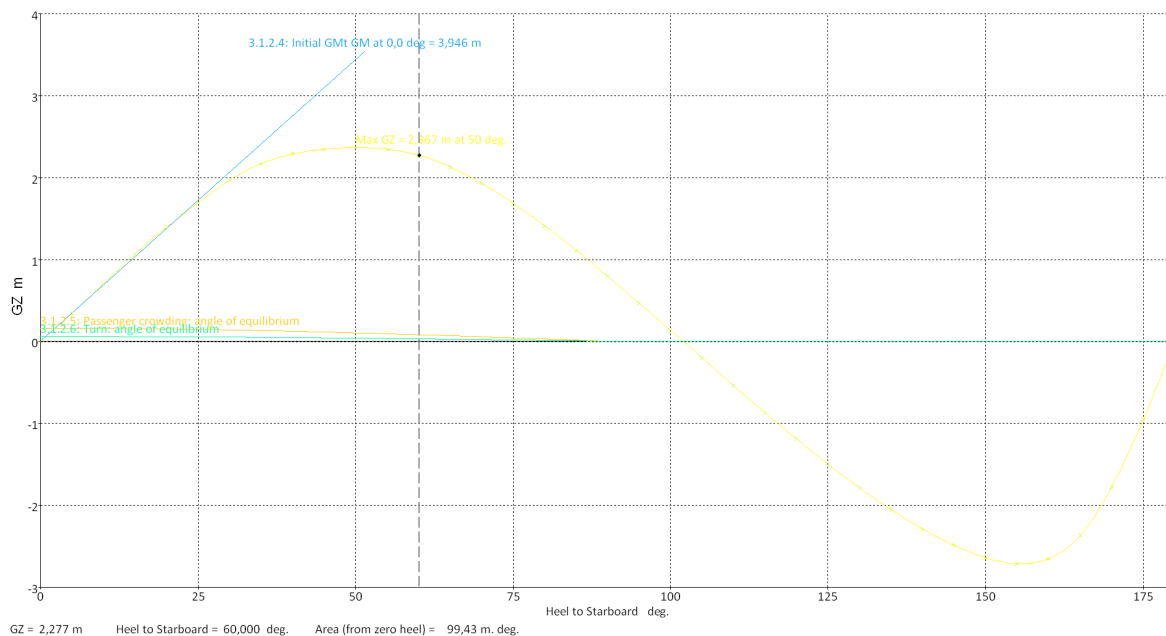


Figura 2. Curva de GZ en la situación de salida de puerto, con el 100% de consumos

Los valores obtenidos en función de los criterios de verificación son:

1. El brazo adrizante a  $30^\circ = 2,367 \text{ m} \geq 0,20 \text{ m}$  (Cumple)
2. El brazo adrizante máximo se produce a  $50^\circ \geq 25^\circ$  (Cumple)
3. La altura metacéntrica inicial corregida  $3,946 \text{ m} \geq 0,15 \text{ m}$  (Cumple)
4. El área bajo la curva de estabilidad hasta  $30^\circ$  es de  $31,038 \text{ m} \cdot \text{grado} \geq 3,151 \text{ m} \cdot \text{deg}$  ( $0.055 \text{ m} \times \text{radian}$ ) (Cumple)
5. El área bajo la curva de estabilidad hasta  $40^\circ$  es de  $52,621 \text{ m} \cdot \text{grado} \geq 5,157 \text{ m} \cdot \text{grado}$  ( $0.090 \text{ m} \times \text{radian}$ ) (Cumple)



6. El área bajo la curva de estabilidad entre 30° y 40° es de 21,583 m·grado  $\geq$  1,719 m·grado (0.030 m  $\times$  radian) (Cumple)

A continuación se incluyen los datos obtenidos de forma tabulada:

Ángulo de escora a Er (°)	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0
Desplazamiento, tn	833	833	833	833	833	833
Calado Ppr, m	2,727	2,717	2,691	2,652	2,583	2,480
Calado Ppp, m	2,955	2,940	2,876	2,719	2,509	2,248
Eslora en la flotación, m	50,427	50,420	50,402	50,376	50,329	50,259
Calado, m	2,955	2,929	3,010	3,466	3,853	4,177
Manga en la flotación, m	15,312	15,361	15,481	12,517	12,138	11,821
Superficie mojada, m <sup>2</sup>	690,702	691,563	700,722	701,185	700,212	699,456
Área de la flotación, m <sup>2</sup>	457,304	460,040	476,324	480,193	477,571	476,379
Coeficiente prismático	0,641	0,643	0,648	0,662	0,675	0,688
Coeficiente de bloque	0,428	0,427	0,395	0,371	0,344	0,326
LCB desde CM (+ a proa), m	-6,294	-6,296	-6,294	-6,290	-6,284	-6,278
VCB desde flotación, m	-1,051	-1,056	-1,065	-1,054	-1,045	-1,042
GZ, m	0,000	0,345	0,709	1,070	1,396	1,695
LCF desde CM (+ a proa), m	-5,021	-5,059	-5,311	-4,884	-4,593	-4,278
TCF, m	0,000	0,567	1,369	2,178	2,735	3,278
Max inclinación, grados	0,3	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0
Ángulo de trimado, grados	0,3	0,3	0,2	0,1	-0,1	-0,3

Ángulo de escora a Er (°)	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0
Desplazamiento, tn	833	833	833	833	833	833
Calado Ppr, m	2,342	2,163	1,927	1,614	1,197	0,648
Calado Ppp, m	1,922	1,550	1,157	0,725	0,237	-0,338
Eslora en la flotación, m	50,166	50,042	49,861	49,583	49,181	48,519
Calado, m	4,431	4,644	4,841	5,019	5,176	5,308
Manga en la flotación, m	11,598	10,778	10,746	10,856	10,556	10,086
Superficie mojada, m <sup>2</sup>	699,214	708,633	716,570	723,921	730,318	734,921
Área de la flotación, m <sup>2</sup>	475,743	450,800	431,304	418,300	408,026	396,365
Coeficiente prismático	0,702	0,707	0,709	0,712	0,716	0,717
Coeficiente de bloque	0,313	0,322	0,310	0,296	0,295	0,301
LCB desde CM (+ a proa), m	-6,266	-6,259	-6,251	-6,246	-6,244	-6,244
VCB desde flotación, m	-1,042	-1,063	-1,112	-1,184	-1,274	-1,382
GZ, m	1,968	2,174	2,290	2,349	2,367	2,347
LCF desde CM (+ a proa), m	-3,985	-3,302	-2,620	-1,949	-1,372	-0,874
TCF, m	3,776	3,899	4,015	4,137	4,232	4,269
Max inclinación, grados	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0
Ángulo de trimado, grados	-0,5	-0,7	-0,9	-1,0	-1,1	-1,1

Ángulo de escora a Er (°)	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0
Desplazamiento, tn	833	833	833	833	833	833
Calado Ppr, m	-0,093	-1,246	-3,065	-6,157	-12,393	-31,145
Calado Ppp, m	-1,063	-2,005	-3,350	-5,525	-9,780	-22,384
Eslora en la flotación, m	46,954	46,616	47,169	48,101	48,811	49,375
Calado, m	5,407	5,483	5,527	5,536	5,507	5,481



Manga en la flotación, m	9,435	8,703	8,121	7,655	7,282	6,980
Superficie mojada, m <sup>2</sup>	726,967	715,796	710,516	705,853	703,047	701,219
Área de la flotación, m <sup>2</sup>	369,609	338,794	317,477	299,742	286,377	276,137
Coeficiente prismático	0,712	0,702	0,690	0,678	0,666	0,654
Coeficiente de bloque	0,316	0,338	0,359	0,380	0,402	0,421
LCB desde CM (+ a proa), m	-6,253	-6,265	-6,281	-6,300	-6,326	-6,357
VCB desde flotación, m	-1,501	-1,616	-1,723	-1,820	-1,908	-1,985
GZ, m	2,277	2,131	1,930	1,688	1,414	1,116
LCF desde CM (+ a proa), m	-0,834	-1,217	-1,362	-1,563	-1,704	-1,823
TCF, m	4,426	4,591	4,660	4,650	4,590	4,486
Max inclinación, grados	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0
Ángulo de trimado, grados	-1,1	-0,9	-0,3	0,7	3,0	9,9

Ángulo de escora a Er (°)	90,0	95,0	100,0	105,0	110,0	115,0
Desplazamiento, tn	831	831	831	831	831	831
Calado Ppr, m	N/A	-43,832	-25,053	-18,769	-15,609	-13,695
Calado Ppp, m	N/A	-27,770	-15,123	-10,876	-8,731	-7,430
Eslora en la flotación, m	49,848	50,249	50,611	50,947	51,265	51,574
Calado, m	5,474	5,787	6,053	6,270	6,435	6,546
Manga en la flotación, m	6,732	6,540	6,400	6,308	6,257	6,243
Superficie mojada, m <sup>2</sup>	699,335	698,695	698,561	698,983	699,926	701,469
Área de la flotación, m <sup>2</sup>	268,254	262,745	259,291	257,766	258,079	260,255
Coeficiente prismático	0,643	0,631	0,620	0,609	0,598	0,587
Coeficiente de bloque	0,436	0,425	0,415	0,406	0,399	0,393
LCB desde CM (+ a proa), m	-6,382	-6,418	-6,449	-6,477	-6,505	-6,529
VCB desde flotación, m	-2,045	-2,094	-2,129	-2,148	-2,150	-2,137
GZ, m	0,802	0,473	0,138	-0,201	-0,538	-0,870
LCF desde CM (+ a proa), m	-1,941	-2,050	-2,150	-2,243	-2,329	-2,410
TCF, m	4,341	4,158	3,943	3,699	3,429	3,140
Max inclinación, grados	90,0	95,0	100,0	105,0	110,0	115,0
Ángulo de trimado, grados	90,0	17,7	11,1	8,9	7,8	7,1

Ángulo de escora a Er (°)	120,0	125,0	130,0	135,0	140,0	145,0
Desplazamiento, tn	833	833	833	833	833	833
Calado Ppr, m	-12,397	-11,461	-10,746	-10,180	-9,719	-9,336
Calado Ppp, m	-6,536	-5,907	-5,432	-5,063	-4,771	-4,542
Eslora en la flotación, m	51,887	52,197	52,516	52,849	53,200	53,581
Calado, m	6,609	6,605	6,541	6,416	6,228	5,975
Manga en la flotación, m	6,388	6,655	6,999	7,429	7,975	8,666
Superficie mojada, m <sup>2</sup>	704,412	707,526	711,734	717,364	724,907	735,131
Área de la flotación, m <sup>2</sup>	264,527	270,667	279,097	290,068	304,129	322,326
Coeficiente prismático	0,577	0,566	0,556	0,545	0,534	0,522
Coeficiente de bloque	0,382	0,366	0,352	0,338	0,324	0,311
LCB desde CM (+ a proa), m	-6,548	-6,564	-6,574	-6,579	-6,579	-6,574
VCB desde flotación, m	-2,108	-2,060	-1,995	-1,913	-1,812	-1,692
GZ, m	-1,192	-1,499	-1,788	-2,054	-2,290	-2,490
LCF desde CM (+ a proa), m	-2,482	-2,549	-2,602	-2,636	-2,642	-2,612
TCF, m	2,836	2,521	2,201	1,888	1,588	1,313
Max inclinación, grados	119,9	124,9	129,9	134,9	139,8	144,8
Ángulo de trimado, grados	6,6	6,3	6,0	5,8	5,6	5,4



Ángulo de escora a Er (°)	150,0	155,0	160,0	165,0	170,0	175,0
Desplazamiento, tn	833	833	833	833	833	833
Calado Ppr, m	-9,012	-8,741	-8,518	-8,336	-8,229	-8,197
Calado Ppp, m	-4,367	-4,228	-4,121	-4,065	-4,048	-4,038
Eslora en la flotación, m	54,003	54,477	55,021	55,021	54,930	54,905
Calado, m	5,652	5,269	4,826	4,302	3,711	3,085
Manga en la flotación, m	10,073	12,285	14,886	15,844	15,571	15,406
Superficie mojada, m2	747,303	751,171	755,262	770,620	809,804	837,328
Área de la flotación, m2	347,581	386,900	443,269	528,826	614,558	664,566
Coeficiente prismático	0,510	0,495	0,477	0,458	0,445	0,436
Coeficiente de bloque	0,299	0,286	0,256	0,262	0,279	0,339
LCB desde CM (+ a proa), m	-6,559	-6,549	-6,530	-6,516	-6,501	-6,492
VCB desde flotación, m	-1,553	-1,400	-1,238	-1,067	-0,900	-0,779
GZ, m	-2,643	-2,714	-2,651	-2,369	-1,774	-0,953
LCF desde CM (+ a proa), m	-2,549	-2,591	-2,641	-2,439	-1,799	-1,789
TCF, m	1,053	0,778	0,614	0,595	0,666	0,402
Max inclinación, grados	149,7	154,6	159,5	164,3	169,0	173,1
Ángulo de trimado, grados	5,3	5,1	5,0	4,8	4,7	4,7

Ángulo de escora a Er (°)	180,0
Desplazamiento, tn	833
Calado Ppr, m	-8,192
Calado Ppp, m	-4,036
Eslora en la flotación, m	54,902
Calado, m	2,427
Manga en la flotación, m	15,351
Superficie mojada, m2	855,468
Área de la flotación, m2	688,583
Coeficiente prismático	0,432
Coeficiente de bloque	0,432
LCB desde CM (+ a proa), m	-6,487
VCB desde flotación, m	-0,734
GZ, m	0,000
LCF desde CM (+ a proa), m	-1,794
TCF, m	0,000
Max inclinación, grados	175,3
Ángulo de trimado, grados	4,7

Tabla 3. Estabilidad a grandes ángulos en la situación de salida de puerto, con el 100% de consumos

#### 4.4. Cálculo escora en la posición más desfavorable de los pasajeros

Entre los criterios establecidos en “Hydromax”, se incluye el cálculo del ángulo de escora para la posición más desfavorable de los pasajeros. Esta situación se establece cuando los 250 pasajeros se trasladan a una banda, tomando como distancia desde crujía hacia estribor 7 m.



Para la condición de salida de puerto con el 100% de consumos se produciría una escora de 2,3º a estribor, menor de 10º y por tanto se cumple el criterio de estabilidad.

#### 4.5. Cálculo escora por efecto de una virada

Entre los criterios establecidos en “Hydromax”, se incluye el cálculo del ángulo de escora por efecto de una virada, siendo la velocidad exigida para cumplir con el requisito la velocidad de crucero (15 nudos).

Para la condición de salida de puerto con el 100% de consumos se produciría una escora de 0,8º a estribor, menor de 10º y por tanto se cumple el criterio de estabilidad.

Como dato adicional podemos aportar que a la máxima velocidad de 42 nudos, el ángulo de escora alcanzado durante una virada sería de 6,5º.

#### 4.6. Verificación de criterios

En resumen, podemos decir que el buque cumple ampliamente con todos los requisitos de estabilidad exigidos por la administración:

Criterio	Valor	Verificado
Brazo adrizante a 30° $\geq 0,20$ m	2,367 m	Sí
Brazo adrizante máximo $\geq 25^\circ$	50º	Sí
Altura metacéntrica inicial corregida $\geq 0,15$ m	3,946 m	Sí
Área bajo curva de estabilidad hasta 30° $\geq 3,151$ m·deg (0.055 m $\times$ radian)	31,038 m·grado	Sí
Área bajo curva de estabilidad hasta 40° $\geq 5,157$ m·deg (0.090 m $\times$ radian)	52,621 m·grado	Sí
Área bajo la curva de estabilidad entre 30° y 40° $\geq 1,719$ m·grado (0.030 m $\times$ radian)	21,583 m·grado	Sí
Escora posición desfavorable pasajeros $<10^\circ$	2,3º	Sí
Escora por efecto de una virada	0,8º	Sí

Tabla 4. Verificación de criterios de estabilidad en la situación de salida de puerto, 100% consumos





## 5. Llegada a puerto (10% consumos)

### 5.1. Condición de carga

Para el análisis de la condición de carga, una vez abierto el modelo de Maxsurf en el módulo “Hydromax”, se procede a establecer la siguiente condición de carga (loadcase) en función de los datos obtenidos en el Capítulo de Pesos:

Concepto	Cantidad	Peso (tn)	Brazo long. (m)	Brazo Vert. (m)	Brazo Transv. (m)	Momento SL (tn·m)
Peso Rosca	1	709	19,410	3,840	0,000	0,000
Pasajeros	100	0,0750	21,000	5,800	0,000	0,000
Tripulación	30	0,0750	22,000	5,800	0,000	0,000
Pertrechos	100	0,0500	22,000	5,800	0,000	0,000
Pertrechos trip.	30	0,0500	22,000	5,800	0,000	0,000
Víveres	1	1,000	3,000	3,800	0,000	0,000
Repuestos	1	20,00	22,500	4,000	0,000	0,000
Combustible	0,1	13,64	8,700	1,000	0,000	20,507
Aceite 1	1	0,4990	6,900	0,470	0,000	0,000
Aceite 2	1	0,704	6,900	0,380	0,000	0,000
Aceite 3	1	0,4990	6,900	0,470	0,000	0,000
Rebose	0,1	0,566	10,200	0,410	0,000	0,328
Lodos	0,1	0,708	12,600	0,410	0,000	0,410
Agua Dulce	0,1	2,448	14,700	0,570	0,000	1,382
	<b>Peso Total=</b>	<b>750</b>	<b>LCG=19,466</b>	<b>VCG=3,872</b>	<b>TCG=0,000</b>	<b>2,263</b>
				<b>FS corr.=0,003</b>		
				<b>VCG fluid=3,875</b>		

Tabla 5. Situación de llegada de puerto, con el 10% de consumos

### 5.2. Posición y estabilidad

Una vez establecida la condición de carga conforme al apartado anterior, se procede al análisis de la posición de equilibrio y estabilidad inicial del buque intacto (Equilibrium):

Calado	2,696 m
Desplazamiento	750 tn
Escora a estribor	0,0 Grados
Calado en la Ppr	2,749 m



Calado en la Ppo	2,643 m
Calado en LCF	2,686 m
Trimado (+ por popa)	-0,106 m
Eslora en la flotación	50,442 m
Manga en la flotación	15,302 m
Superficie mojada	649,639 m <sup>2</sup>
Área de la flotación	448,254 m <sup>2</sup>
Coefficiente prismático	0,685
Coefficiente de bloque	0,427
Coefficiente de la maestra	0,646
Coefficiente de la flotación	0,717
LCB (+ a proa)	-5,750 m
LCF (+ a proa)	-4,981 m
KB	1,712 m
KG fluid	3,875 m
BMt	6,265 m
BML	102,922 m
GMt	4,102 m
GML	100,759 m
KMt	7,977 m
KML	104,635 m
Toneladas por cm de inmersión	4,596 tn/cm
MTc	14,982 tn·m
Trimado	-0,1 Grados

Tabla 6. Equilibrio en la situación de llegada a puerto, con el 10% de consumos

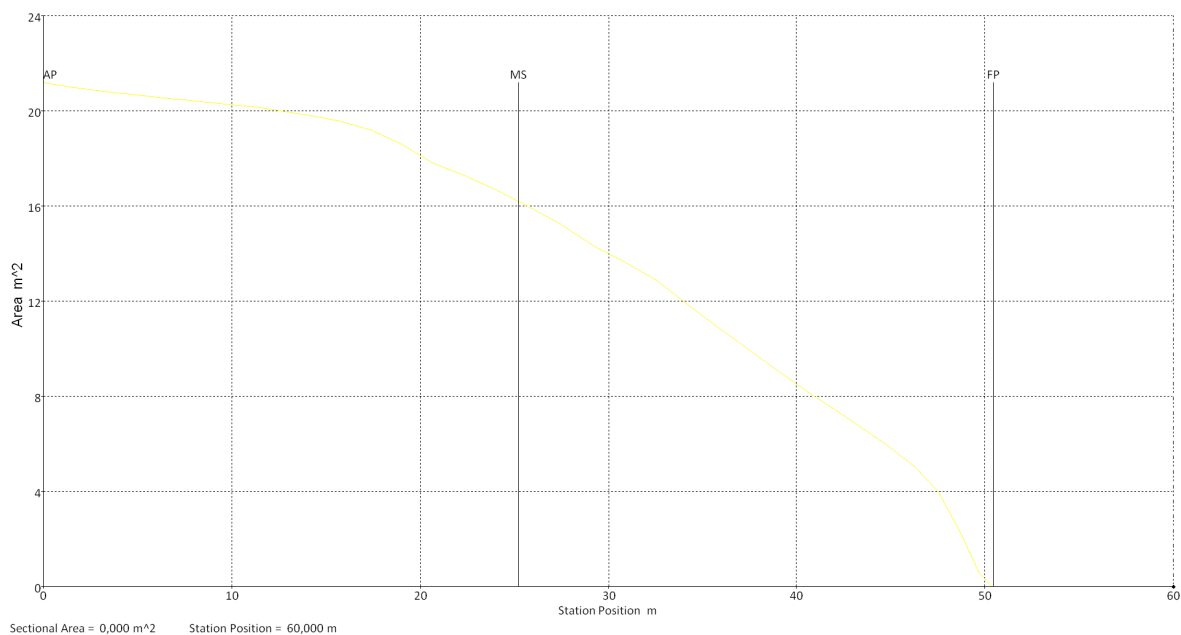


Figura 3. Calado en eslora en la situación de salida de puerto, con el 100% de consumos



### 5.3. Curva de estabilidad a grandes ángulos (GZ)

En el siguiente paso se procede al análisis de la estabilidad a grandes ángulos (Large angle stability):

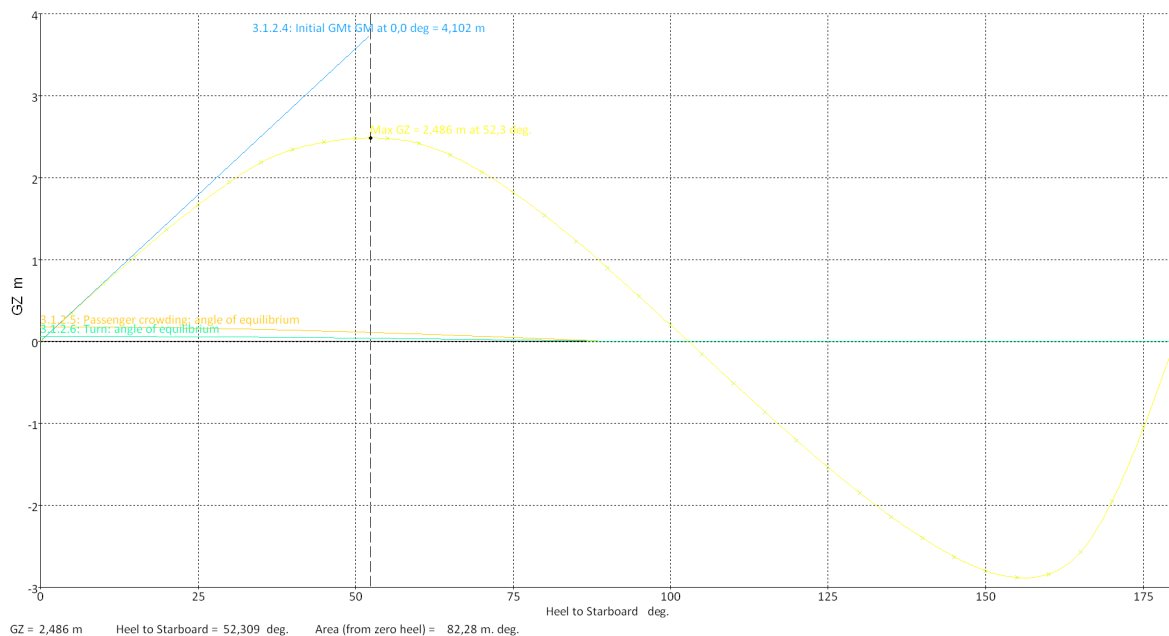


Figura 4. Curva de GZ en la situación de llegada a puerto, con el 10% de consumos

Los valores obtenidos en función de los criterios de verificación son:

1. El brazo adrizante a  $30^\circ = 2,486 \text{ m} \geq 0,20 \text{ m}$  (Cumple)
2. El brazo adrizante máximo se produce a  $52,3^\circ \geq 25^\circ$  (Cumple)
3. La altura metacéntrica inicial corregida  $4,102 \text{ m} \geq 0,15 \text{ m}$  (Cumple)
4. El área bajo la curva de estabilidad hasta  $30^\circ$  es de  $30,564 \text{ m} \cdot \text{deg} \geq 3,151 \text{ m} \cdot \text{deg}$  ( $0.055 \text{ m} \times \text{radian}$ )
5. El área bajo la curva de estabilidad hasta  $40^\circ$  es de  $52,289 \text{ m} \cdot \text{grado} \geq 5,157 \text{ m} \cdot \text{grado}$  ( $0.090 \text{ m} \times \text{radian}$ )



6. El área bajo la curva de estabilidad entre  $30^\circ$  y  $40^\circ$  es de  $21,724 \text{ m}\cdot\text{grado} \geq 1,719 \text{ m}\cdot\text{grado}$  ( $0.030 \text{ m} \times \text{radian}$ )

A continuación se incluyen los datos obtenidos de forma tabulada:

Ángulo de escora a Er ( $^\circ$ )	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0
Desplazamiento, tn	750	750	750	750	750	750
Calado Ppr, m	2,749	2,739	2,712	2,684	2,624	2,530
Calado Ppp, m	2,643	2,627	2,566	2,402	2,172	1,887
Eslora en la flotación, m	50,442	50,435	50,416	50,398	50,358	50,295
Calado, m	2,737	2,716	2,704	3,160	3,536	3,850
Manga en la flotación, m	15,302	15,347	15,433	12,174	11,800	11,505
Superficie mojada, m <sup>2</sup>	649,613	649,463	650,010	677,380	677,866	677,425
Área de la flotación, m <sup>2</sup>	448,246	448,209	449,049	467,947	466,471	465,495
Coeficiente prismático	0,685	0,686	0,693	0,706	0,719	0,719
Coeficiente de bloque	0,427	0,430	0,433	0,377	0,348	0,327
LCB desde CM (+ a proa), m	-5,750	-5,750	-5,749	-5,742	-5,734	-5,724
VCB desde flotación, m	-0,972	-0,978	-0,991	-0,982	-0,969	-0,961
GZ, m	0,000	0,357	0,705	1,034	1,366	1,670
LCF desde CM (+ a proa), m	-4,981	-4,971	-4,891	-4,868	-4,519	-4,164
TCF, m	0,000	0,549	1,301	2,192	2,765	3,304
Max inclinación, grados	0,1	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0
Ángulo de trimado, grados	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,5	-0,7

Ángulo de escora a Er ( $^\circ$ )	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0
Desplazamiento, tn	750	750	750	750	750	750
Calado Ppr, m	2,401	2,235	2,021	1,733	1,347	0,835
Calado Ppp, m	1,535	1,109	0,638	0,118	-0,481	-1,208
Eslora en la flotación, m	50,209	50,096	49,940	49,690	49,322	48,736
Calado, m	4,097	4,283	4,464	4,635	4,774	4,877
Manga en la flotación, m	11,319	10,744	10,590	10,709	10,615	10,137
Superficie mojada, m <sup>2</sup>	676,914	682,069	690,296	698,043	703,740	705,086
Área de la flotación, m <sup>2</sup>	465,783	454,066	434,788	422,148	411,039	394,552
Coeficiente prismático	0,715	0,712	0,714	0,717	0,722	0,728
Coeficiente de bloque	0,313	0,315	0,307	0,292	0,286	0,293
LCB desde CM (+ a proa), m	-5,713	-5,703	-5,690	-5,679	-5,669	-5,668
VCB desde flotación, m	-0,959	-0,968	-1,005	-1,068	-1,153	-1,252
GZ, m	1,947	2,188	2,343	2,433	2,480	2,479
LCF desde CM (+ a proa), m	-3,839	-3,433	-2,731	-2,040	-1,327	-0,660
TCF, m	3,802	4,072	4,168	4,269	4,373	4,455
Max inclinación, grados	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0
Ángulo de trimado, grados	-1,0	-1,3	-1,6	-1,8	-2,1	-2,3

Ángulo de escora a Er ( $^\circ$ )	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0
Desplazamiento, tn	750	750	750	750	750	750
Calado Ppr, m	0,144	-0,940	-2,671	-5,623	-11,569	-29,469
Calado Ppp, m	-2,144	-3,375	-5,137	-7,985	-13,582	-30,174



Eslora en la flotación, m	47,339	46,959	47,490	48,418	49,120	49,670
Calado, m	4,939	4,955	4,927	4,899	4,847	4,803
Manga en la flotación, m	9,436	8,604	8,024	7,558	7,181	6,873
Superficie mojada, m <sup>2</sup>	698,535	686,588	680,161	674,779	671,628	669,505
Área de la flotación, m <sup>2</sup>	368,802	337,454	314,933	296,422	282,643	272,012
Coeficiente prismático	0,732	0,736	0,739	0,732	0,717	0,702
Coeficiente de bloque	0,311	0,340	0,367	0,392	0,417	0,439
LCB desde CM (+ a proa), m	-5,671	-5,675	-5,685	-5,705	-5,725	-5,751
VCB desde flotación, m	-1,362	-1,468	-1,568	-1,661	-1,745	-1,818
GZ, m	2,418	2,275	2,071	1,821	1,538	1,228
LCF desde CM (+ a proa), m	-0,481	-0,883	-1,092	-1,335	-1,480	-1,604
TCF, m	4,597	4,778	4,824	4,797	4,717	4,591
Max inclinación, grados	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0
Ángulo de trimado, grados	-2,6	-2,8	-2,8	-2,7	-2,3	-0,8

Ángulo de escora a Er (°)	90,0	95,0	100,0	105,0	110,0	115,0
Desplazamiento, tn	750	750	750	750	750	750
Calado Ppr, m	N/A	-42,124	-24,212	-18,227	-15,210	-13,395
Calado Ppp, m	N/A	-35,713	-19,120	-13,543	-10,731	-9,014
Eslora en la flotación, m	50,130	50,522	50,871	51,194	51,504	51,800
Calado, m	4,792	5,095	5,359	5,579	5,751	5,876
Manga en la flotación, m	6,623	6,428	6,283	6,183	6,123	6,097
Superficie mojada, m <sup>2</sup>	667,935	667,046	666,710	666,882	667,634	668,936
Área de la flotación, m <sup>2</sup>	263,786	257,837	253,873	251,764	251,483	252,833
Coeficiente prismático	0,688	0,674	0,661	0,647	0,635	0,622
Coeficiente de bloque	0,457	0,443	0,431	0,420	0,412	0,405
LCB desde CM (+ a proa), m	-5,776	-5,807	-5,841	-5,874	-5,900	-5,933
VCB desde flotación, m	-1,880	-1,929	-1,964	-1,985	-1,990	-1,981
GZ, m	0,899	0,555	0,202	-0,155	-0,511	-0,864
LCF desde CM (+ a proa), m	-1,716	-1,823	-1,920	-2,012	-2,091	-2,173
TCF, m	4,424	4,219	3,980	3,712	3,419	3,106
Max inclinación, grados	90,0	95,0	100,0	105,0	110,0	115,0
Ángulo de trimado, grados	90,0	7,2	5,8	5,3	5,1	5,0

Ángulo de escora a Er (°)	120,0	125,0	130,0	135,0	140,0	145,0
Desplazamiento, tn	750	750	750	750	750	750
Calado Ppr, m	-12,168	-11,278	-10,601	-10,065	-9,628	-9,264
Calado Ppp, m	-7,857	-7,019	-6,384	-5,886	-5,490	-5,172
Eslora en la flotación, m	52,097	52,398	52,707	53,031	53,375	53,751
Calado, m	5,949	5,967	5,929	5,834	5,678	5,459
Manga en la flotación, m	6,107	6,316	6,619	7,009	7,484	8,081
Superficie mojada, m <sup>2</sup>	670,957	673,828	677,727	682,966	690,027	699,638
Área de la flotación, m <sup>2</sup>	255,998	261,027	268,002	277,296	289,539	305,734
Coeficiente prismático	0,609	0,597	0,584	0,572	0,560	0,547
Coeficiente de bloque	0,399	0,385	0,370	0,355	0,341	0,329
LCB desde CM (+ a proa), m	-5,959	-5,979	-5,996	-6,007	-6,013	-6,014
VCB desde flotación, m	-1,954	-1,912	-1,852	-1,775	-1,679	-1,565



GZ, m	-1,207	-1,537	-1,849	-2,139	-2,401	-2,628
LCF desde CM (+ a proa), m	-2,239	-2,291	-2,322	-2,324	-2,289	-2,204
TCF, m	2,778	2,441	2,102	1,770	1,450	1,152
Max inclinación, grados	120,0	125,0	129,9	134,9	139,9	144,8
Ángulo de trimado, grados	4,9	4,8	4,8	4,7	4,7	4,6

Ángulo de escora a Er (°)	150,0	155,0	160,0	165,0	170,0	175,0
Desplazamiento, tn	750	750	750	750	750	750
Calado Ppr, m	-8,957	-8,702	-8,491	-8,312	-8,205	-8,169
Calado Ppp, m	-4,912	-4,684	-4,501	-4,378	-4,320	-4,290
Eslora en la flotación, m	54,171	54,633	55,091	54,951	54,866	54,841
Calado, m	5,180	4,855	4,468	4,000	3,443	2,834
Manga en la flotación, m	10,276	12,510	13,829	15,855	15,574	15,406
Superficie mojada, m2	702,376	698,811	703,153	723,145	773,010	808,292
Área de la flotación, m2	333,018	372,715	426,365	510,280	601,914	654,420
Coefficiente prismático	0,533	0,515	0,496	0,470	0,448	0,435
Coefficiente de bloque	0,316	0,283	0,267	0,251	0,270	0,332
LCB desde CM (+ a proa), m	-6,009	-6,000	-5,990	-5,974	-5,967	-5,954
VCB desde flotación, m	-1,435	-1,298	-1,151	-0,996	-0,834	-0,712
GZ, m	-2,801	-2,883	-2,839	-2,573	-1,955	-1,055
LCF desde CM (+ a proa), m	-2,219	-2,381	-2,298	-2,258	-1,843	-1,917
TCF, m	0,794	0,466	0,297	0,301	0,507	0,300
Max inclinación, grados	149,8	154,7	159,6	164,4	169,1	173,4
Ángulo de trimado, grados	4,6	4,6	4,5	4,5	4,4	4,4

Ángulo de escora a Er (°)	180,0
Desplazamiento, tn	750
Calado Ppr, m	-8,160
Calado Ppp, m	-4,282
Eslora en la flotación, m	54,835
Calado, m	2,182
Manga en la flotación, m	15,350
Superficie mojada, m2	841,317
Área de la flotación, m2	688,350
Coefficiente prismático	0,433
Coefficiente de bloque	0,433
LCB desde CM (+ a proa), m	-5,953
VCB desde flotación, m	-0,667
GZ, m	0,000
LCF desde CM (+ a proa), m	-1,816
TCF, m	0,000
Max inclinación, grados	175,6
Ángulo de trimado, grados	4,4

Tabla 7. Estabilidad a grandes ángulos en la situación de llegada a puerto, con el 10% de consumos



#### 5.4. Cálculo escora en la posición más desfavorable de los pasajeros

Entre los criterios establecidos en “Hydromax”, se incluye el cálculo del ángulo de escora para la posición más desfavorable de los pasajeros. Esta situación se establece cuando los 250 pasajeros se trasladan a una banda, tomando como distancia desde crujía hacia estribor de 7 m.

Para la condición de salida de puerto con el 100% de consumos se produciría una escora de 2,4º a estribor, menor de 10º y por tanto se cumple el criterio de estabilidad.

#### 5.5. Cálculo escora por efecto de una virada

Entre los criterios establecidos en “Hydromax”, se incluye el cálculo del ángulo de escora por efecto de una virada, siendo la velocidad exigida para cumplir con el requisito la velocidad de crucero (15 nudos).

Para la condición de salida de puerto con el 100% de consumos se produciría una escora de 0,8º a estribor, menor de 10º y por tanto se cumple el criterio de estabilidad.

Como dato adicional podemos aportar que a la máxima velocidad de 42 nudos, el ángulo de escora alcanzado durante una virada sería de 6,6º.

#### 5.6. Verificación de criterios

En resumen, podemos decir que el buque cumple ampliamente con todos los requisitos de estabilidad exigidos por la administración:

Criterio	Valor	Verificado
Brazo adrizante a 30° $\geq 0,20$ m	2,468 m	Sí
Brazo adrizante máximo $\geq 25^\circ$	52,3º	Sí
Altura metacéntrica inicial corregida $\geq 0,15$ m	4,102 m	Sí
Área bajo curva de estabilidad hasta 30° $\geq 3,151$ m·deg (0.055 m × radian)	30,356 m·deg	Sí
Área bajo curva de estabilidad hasta 40° $\geq 5,157$ m·deg (0.090 m	52,289 m·deg	Sí



× radian)		
Área bajo la curva de estabilidad entre 30° y 40° ≥ 1,719 m·grado (0.030 m × radian)	21,412m·deg	Sí
Escora posición desfavorable pasajeros <10º	2,4º	Sí
Escora por efecto de una virada	0,8º	Sí

Tabla 8. Verificación de criterios de estabilidad en la situación de llegada a puerto, 10% consumos

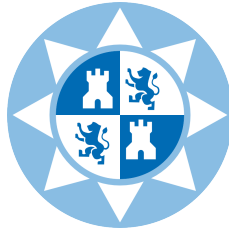




## 6. Bibliografía

### Escrita

- Proyecto nº 1664 “Trimarán de pasaje en aluminio”. J.P. ORTEGA y R. PÉREZ. ETSIN, Universidad Politécnica de Madrid.
- Apuntes de “Proyectos”, J.U. DEGANO. Universidad Politécnica de Cartagena
- “El proyecto básico del buque mercante”. R. ALVARIÑO, J.J. AZPIROZ, M. MEIZOSO. F.E.I.N.



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**  
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

**Proyecto Fin de Carrera**  
**ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE UN**  
**BUQUE DE GRAN ESLORA EN**  
**MATERIALES COMPUESTOS**

**CAPÍTULO 6**  
**Producción**

**JOSÉ LUIS SÁEZ HERNÁNDEZ**



- ESTA PÁGINA HA SIDO INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO -



## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>5</b>
<b>2. Materiales</b>	<b>6</b>
2.1. Elección de la matriz	6
2.2. Elección de cargas y aditivos	13
2.3. Elección de los recubrimientos	14
2.4. Elección de las fibras de refuerzo	15
2.4.1. Elección de las estructuras textiles	18
2.5. Elección del núcleo	20
<b>3. Proceso de fabricación</b>	<b>23</b>
3.1. Introducción	23
3.2. Clasificación y análisis de los procesos de fabricación	23
3.2.1. Contenido de refuerzo	25
3.2.2. Coste de utillajes y equipos	26
3.2.3. Emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV)	27
3.2.4. Número de unidades a construir	30
3.3. Elección del proceso de fabricación	32
3.4. Descripción del proceso de moldeo por contacto	34
3.4.1. Modelos y moldes	34
3.4.2. Laminado a mano	36
3.4.2.1. Fase 1 - Aplicación del gel coat	37
3.4.2.2. Fase 2 – Cortado de las telas	39
3.4.2.3. Fase 3 – Dosificación de resina, impregnación de telas y consolidación	39
3.4.2.4. Fase 4 - Desmoldeo	42
3.4.3. Laminado sándwich	42
3.4.4. Refuerzos tipo omega	43
3.4.5. Detalles constructivos	44
3.5. Construcción integrada	45
<b>4. Bibliografía</b>	<b>47</b>



## Tablas

Tabla 1. Requisitos para resinas de poliéster y viniléster para relleno resistentes a la llama del DNV	9
Tabla 2. Requisitos para resinas de poliéster y viniléster para curado resistentes a la llama del DNV	10
Tabla 3. Requisitos de combustibilidad del DNV	10
Tabla 4. Niveles permibles de emanaciones	29

## Figuras

Figura 1. Tren de alta velocidad francés TGV	11
Figura 2. Selección de resinas resistentes al fuego	12
Figura 3. Micrografías de fibras rotas a tracción (Carbono, Kevlar 49, Vidrio)	17
Figura 4. MAT 300	19
Figura 5. WR 800	20
Figura 6. Contenido de refuerzo en función del proceso de fabricación	25
Figura 7. Coste de utillajes y equipos en función del proceso de fabricación	27
Figura 8. Fases de la contaminación del ambiente	28
Figura 9. Emanaciones en ppm en función de las fases	28
Figura 10. Emisiones COV en función del proceso de fabricación	30
Figura 11. Número de unidades a construir en función del método de fabricación	31
Figura 12. Unión de moldes	35
Figura 13. Pistola “airless” para aplicación de gel coat	39
Figura 14. Unión de un refuerzo omega mediante escarpiado	43
Figura 15. Solape entre telas	44
Figura 16. Disposición de uniones en diferentes capas adyacentes	44
Figura 17. Unión de cubiertas con el casco	45



## 1. Introducción

En el Capítulo 6 del Proyecto se procede al análisis y elección de los distintos materiales que formarán la estructura del Trimarán en función del estado del arte de la construcción en materiales compuestos. La selección se realiza en función de los requerimientos del proyecto, especialmente aquellos que presumiblemente podían suponer una merma en este tipo de materiales, tales como las vibraciones o el fuego.

A continuación se realiza un estudio comparativo de los distintos métodos de fabricación en materiales compuestos en base a unas determinadas medidas, conforme al cual se elige el proceso de fabricación para el proyecto, que es detallado a continuación.

Para acabar el capítulo, se ofrecen algunos detalles constructivos y se especifica el uso de una estrategia de construcción integrada, al igual que en cualquier otro tipo de construcción naval.



## **2. Materiales**

Para que el buque sea capaz de cumplir con las especificaciones de requisitos, es necesario realizar una selección de los materiales durante el diseño con las mejores propiedades y que proporcionen a la embarcación las mejores características al menor coste posible.

A continuación se justifica la selección de las materias primas, las cuales se han considerado como las más adecuadas para cumplir con la función encomendada, de manera que el producto final cumpla sobradamente con los requerimientos de seguridad y suponga el mayor beneficio posible en cuanto a la minimización del peso o un menor coste de mantenimiento, sin que esto conlleve una reducción de la calidad del buque cuando sea operado en condiciones normales.

### **2.1. Elección de la matriz**

Existen diversas clasificaciones de los materiales compuestos según se atiende a la matriz, a los refuerzos o a las cargas. Atendiendo a su matriz se tienen materiales compuestos de matriz metálica, de matriz cerámica o de matriz de resina.

Se puede afirmar que los materiales compuestos de matriz de resina o polimérica, y en especial los de matrices termoestables, son los más utilizados con tales propósitos.

El voluminoso tamaño que por lo general poseen las embarcaciones, hace impensable económicamente, al menos de momento, la utilización de otros materiales compuestos diferentes de aquellos en que intervengan las matrices termoestables.



Los materiales compuestos de matriz metálica se basan en la incorporación de refuerzos con fibras continuas, fibras discontinuas, y en la adición de partículas. La fabricación de estos compuestos se hace bien por la acción de presión y temperatura sobre las capas del refuerzo entre láminas del metal, de forma que las láminas se deforman en torno a las fibras y se enlazan unas y otras, o bien mediante complicados procesos metalúrgicos de polvos y procesos de infiltración por fusión. Los costes de tales procesos hacen difícil su aplicación en la construcción de embarcaciones, siendo su finalidad, casi exclusivamente, aeroespacial.

Los materiales compuestos de matriz cerámica tienen como objeto principal la de mejorar las características de los materiales cerámicos. Conocidas las propiedades de resistencia a las altas temperaturas de los materiales cerámicos, los compuestos cerámicos buscan solución a la fragilidad que tienen muchos de estos materiales a bajas temperaturas, evitando la fractura sin sacrificar la resistencia. Los tipos de refuerzo pueden ser a través de fibras continuas, fibras discontinuas y refuerzos con partículas. Los procesos de fabricación se basan en deposiciones químicas de vapor para la impregnación de los refuerzos, encapsulamiento de las fibras mediante un material vítreo-cerámico, o la compresión isostática en caliente. En todo caso, la complejidad de los procesos, así como la finalidad última de los materiales obtenidos, se alejan de la problemática presente en diseño y construcción de embarcaciones.

Por último, de los materiales compuestos de matriz polimérica, sólo tienen utilidad en el campo naval las matrices termoplásticas y las termoestables.

Los termoplásticos se utilizan únicamente en la construcción de piezas de tamaño reducido, debido a que su estructura molecular es lineal o ramificada; necesitan de calor y alta presión para moldearse, lo que eleva el coste de los moldes; la impregnación de las fibras de refuerzo se torna dificultosa dada la alta viscosidad de la matriz durante su elaboración, y éstas tienen tendencia a fluir a temperaturas medias.

En cambio, los materiales compuestos de matriz termoestable no necesitan de grandes inversiones en moldes ni controles de temperatura, ya que la mayoría de





resinas se procesan a temperatura ambiente. Los procesos de fabricación requieren moldes sencillos, contruidos por lo general con los mismos compuestos u otros más sencillos, como la madera, y las propiedades físicas y mecánicas finales son iguales o mejores que los materiales metálicos. El coste de la materia prima es razonable y la mano de obra, a pesar de ser numerosa y artesanal, no requiere de un alto grado de capacitación. Es por ello que la matriz a utilizar para el Proyecto será una **matriz polimérica termoestable**, como es habitual en el sector naval.

En función de los componentes que la forman, se puede hacer la siguiente clasificación de las resinas:

- Resinas de poliéster
- Resinas de viniléster
- Resinas de baja emisión de estireno
- Resinas epoxi
- Resinas fenólicas
- Otras resinas: Resinas bismaleimida, resinas poliimida, ésteres de cianato y polieteramida

Como indicábamos anteriormente, uno de los principales handicap de los materiales compuestos es su vulnerabilidad al fuego. Las resinas de poliéster de uso general son combustibles y los laminados pierden rápidamente su resistencia en caso de incendio. En el mercado, ls materiales compuestos compiten contra muchos otros materiales, algunos de ellos, como el aluminio, no son inflamables, pero se derriten. Sin embargo, hoy en día existen soluciones eficaces que han mejorado notablemente el comportamiento al fuego de los GRP.

Por este motivo, el reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” del DNV en Pt.2 Ch.4 Sec.2 C101, en lo referente a las propiedades de las resinas, indica que para la protección contra el fuego se usarán resinas resistentes a la llama, así como “gel coat” y “top coat” resistentes también a la llama.



En el apartado C201, sobre las propiedades de las resinas resistentes a la llama, se indica que las resinas de poliéster y vinilester pueden ser aprobadas como ignífugas, siempre que cumplan con lo especificado en IMO Res. A.689 (17) Part 1, 6.2.1: “El material del buque debe ser probado a llama para determinar sus características de resistencia a la llama mediante la comprobación con un modelo de prueba. Después de la eliminación de la llama, el tiempo de combustión y la zona quemada debe ser medida y debe ser satisfactoria a juicio de la Administración”.

Las resinas de relleno cumplirán por ello con los requisitos para la resina líquida de la Tabla C1:

<b>Table C1 Manufacturer's quality control for polyester and vinylester in liquid condition</b> (Specify tolerances for base resin and each variant)			
<i>Control on</i>	<i>Test method <sup>1)</sup></i>	<i>Acceptance criteria</i>	
Viscosity	ISO 2555 (1989) <sup>2)</sup> (Brookfield) or ISO 2884 (1974) (Cone/plate)	msv $\pm$ 250 mPas	*
Monomer content	ISO 3251(1993)	msv $\pm$ 2%	
Mineral content	DIN 16945 (1989), item 4.10	msv $\pm$ 1%	*
Gel time <sup>3)</sup>	ISO 2535 (1997)	For curing time at room temperature:  — < 60 minutes: msv $\pm$ 5 minutes — 120 to 60 minutes: msv $\pm$ 10 minutes — >120 minutes: msv $\pm$ 15 minutes	
1) Other standards may be used if agreed upon with the Society prior to testing.			
2) For polyester and vinylester, the following parameters are to be used; Viscometer type A, rotational frequency 10, temperature 23°C. Viscosity can be accepted with msv $\pm$ 20%.			
3) Specify activator and initiator and % of each.			
* Parameters normally required tested and documented for product certification by the Society.			

Tabla 1. Requisitos para resinas de poliéster y viniléster para relleno resistentes a la llama del DNV

Las resinas de curado cumplirán con los requisitos de la Tabla C2:



<b>Table C2 Polyester and vinylester products, cured not reinforced resin</b> (Parameters normally required tested and documented for product certification by the Society)				
<i>Property</i>	<i>Test method<sup>1)</sup></i>	<i>Requirements for approval testing / Data format</i>		
		<i>Grade 1</i>	<i>Grade 2</i>	
Density	ISO 1675 (1985)	msv (g/cm <sup>3</sup> )	msv (g/cm <sup>3</sup> )	
Volumetric curing shrinkage	ISO 3521 (1997)	msv (%)	msv (%)	
Ultimate tensile strength <sup>2)</sup>	ISO 527-1,2 (1993)	msmv minimum 55 MPa	msmv minimum 45 MPa	*
Tensile modulus	ISO 527-1,2 (1993)	msmv minimum 3000 MPa	msmv minimum 3000 MPa	*
Fracture elongation	ISO 527-1,2 (1993)	msmv minimum 2.5%	msmv minimum 1.5%	*
Ultimate flexural strength	ISO 178 (1993)	msmv minimum 100 MPa	msmv minimum 80 MPa	
Flexural modulus	ISO 178 (1993)	msv minimum 2700 MPa	msv minimum 2700 MPa	
Barcol hardness <sup>3)</sup>	EN 59 (1990) ASTM D 2583 (1995)	msv minimum 35	msv minimum 35	*
Heat deflection temperature	ISO 75-2 (1993)	msmv minimum 70°C	msmv minimum 60°C	
Water absorption <sup>4)</sup>	ISO 62 (1980)	msmv maximum 80 mg	msmv maximum 100 mg	
1) Other standards may be used if agreed upon with the Society prior to testing. 2) Test samples for tensile testing ISO 527-2/1A/50; test specimen 1A and test speed 50 mm/minute. 3) Resin may deviate from these values, provided a minimum value of 30 is met and the manufacturer can demonstrate adequate cure. 4) Test sample 50 x 50 x 4 mm (± 1 x 1 x 0.2). Distilled water. Exposure time 28 days at 23°C. Resin may deviate from these values, provided the water ageing properties are documented.  msv = manufacturer's specified value, verified to be within ± 10% of mean of type test results. msmv = manufacturer's specified minimum value, verified to be below m - 2 sdev (mean - 2 standard deviation) of type test results.  * Parameters normally required tested and documented for product certification by the Society. Barcol hardness is to be measured on each specimen and is to comply with manufacturer's specified value.				

Tabla 2. Requisitos para resinas de poliéster y viniléster para curado resistentes a la llama del DNV

Los requerimientos de combustibilidad se indican en la Tabla C4:

<b>Table C4 Combustibility testing of fire retardant resins</b>			
<i>Property</i>	<i>Test method</i>	<i>Requirements for approval testing</i>	
Combustibility	ASTM D 2863 (1995)	Oxygen index minimum 23	*
* Parameters normally required tested and documented for product certification by the Society.			

Tabla 3. Requisitos de combustibilidad del DNV

ASTM D2863 es un método para determinar la concentración mínima de oxígeno en una mezcla de oxígeno/nitrógeno que hace resistir una quemadura en una muestra de plástico.

Este método además permite clasificar todos los sólidos mediante un índice, donde 0 es para materiales no inflamables, 100 para la madera. La Clase I es la más destacada con un índice menor de 25; la Clase II le sigue con índices entre 25/75 y así sucesivamente.

Las resinas de poliéster comunes están en una clase muy baja, con un índice de



aproximadamente 350. Sin embargo, existen diversas soluciones con las que los materiales compuestos alcanzan las clases I y II de la clasificación de ASTM. Mediante la adición de antimonio, hay un efecto de sinergia con halógenos, con lo que el material compuesto alcanza la Clase I (menos de 25) según la ASTM D2863. Los poliésteres halogenados dan buenos resultados con índices de entre 25/75, la Clase II en la citada norma.

Entre las distintas soluciones para disponer de resinas resistentes a la llama podemos citar:

- *Resinas de poliéster comunes + aditivos resistentes a la llama:* Hay diversos retardantes al fuego, tales como los halógenos, los cuales contienen aditivos (TCEP, cloroparafinas), productos a base de fósforo (polifosfato de amonio). Esta solución es adecuada para aplicaciones menos exigentes.
- *Resinas de poliéster halogenadas:* Esta es una manera inherente de producir resina retardante del fuego, ya que la materia prima a base de halógeno se polimeriza junto con las otras materias primas habituales para producir un producto altamente halogenado. Este tipo de solución ha sido usada por ejemplo en la construcción de los trenes de alta velocidad TGV franceses.



Figura 1. Tren de alta velocidad francés TGV



- *Vinilésteres epóxicos*: Los entornos altamente bromados combinan la resistencia a la corrosión y propiedades frente al fuego.
- *Resinas de trihidrato de alumina (ATH)*: Esta es la mejor alternativa disponible para las soluciones libres de halógenos. Se trata de una dispersión de ATH sobre una resina epoxi. Son resinas que proporcionan baja incidencia de humos y toxicidad.

Pero, ¿cómo seleccionar una resina resistente al fuego? En función de los requisitos que se le exijan a la estructura GRP podemos considerar el siguiente workflow elaborado por la compañía Ashland:

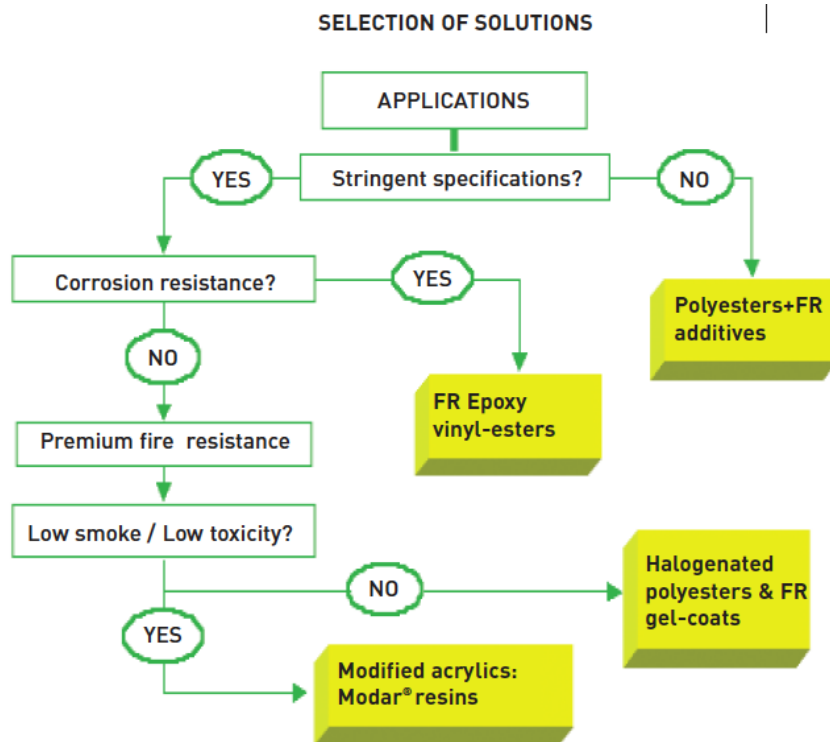


Figura 2. Selección de resinas resistentes al fuego

En función de lo anteriormente expuesto, se ha seleccionado para el Proyecto una **resina de viniléster epóxico** de la citada Ashland. En concreto, la resina **DERAKANE® 510A-40** que se trata de un viniléster epóxico de Bisfenol A bromado e ignífugo, que proporciona dispersión de llama y humo Clase I, con un índice inferior a



25, y desarrollado sin el uso de sinérgicos.

El motivo de usar una resina de vinilester en vez de las habituales resinas de poliéster son:

1. Mayor resistencia química y mecánica.
2. Absorben perfectamente los choques mecánicos y térmicos.
3. Son perfectas para zonas sometidas a altas tensiones y vibraciones.

Queremos llamar la atención sobre este último punto, pues precisamente otro de los handicap de la construcción naval en materiales compuestos era el bajo módulo de elasticidad que puede originar problemas de frecuencias naturales y resonancias. Con la elección de esta matriz no sólo paliaremos la vulnerabilidad al fuego, sino atenderemos mejor la aparición de vibraciones.

## **2.2. Elección de cargas y aditivos**

Seguidamente se indican cuales serán las cargas y aditivos elegidos para la fabricación del producto objeto de este proyecto.

El catalizador de la resina se selecciona en función de la temperatura de curado de la misma y de la exotermia de la reacción y, asociados al acelerador, se determinan los tiempos de trabajo (tiempo de gel) y endurecimiento del sistema. Por otra parte, el acelerador se selecciona en función del catalizador.

En los procesos de fabricación generalmente lo que nos interesa es que se consigan tiempos de endurecimiento largos para facilitar el trabajo, y de todos estos los sistemas catalíticos expuestos, la combinación peróxido de metiletilcetona-cobalto son los más convenientes, principalmente por permitir un buen curado en condiciones ambientales normales (sin necesidad de procesos de postcurado) y una fácil dosificación; aunque hay que tener en cuenta que como principal inconveniente presenta reducidos tiempos de gel.



Siguiendo las recomendaciones del fabricante de la resina, se usará como catalizador el **peróxido de metiletilcetona** (MEC). Ashland recomienda el comercial **Norox® MEKP-925H**, del cual se adjuntan su hoja de información técnica. Como acelerador se usará el **octoato de cobalto**.

También es importante el uso de lubricantes, de forma que estos agentes de desmoldeo disminuyen la tendencia natural de adherirse la resina al molde.

### 2.3. Elección de los recubrimientos

El gel coat es la primera capa de resina en contacto con el exterior y forma la barrera de protección de la pieza terminada, protegiendo al laminado de los ataques del medio exterior.

El gel coat utilizado debe reunir las siguientes características:

- Tixotropicidad
- Resistencia al agua de mar
- Resistencia al ataque químico
- Dureza al rayado
- Flexibilidad
- Resistencia al impacto
- Mantener el color y el brillo

Y la capa aplicada debe cumplir las siguientes funciones:

- Proteger la fibra de los ataques
- Dar a la superficie buenas características de resistencia al impacto, abrasión, ataque químico, etc.
- Dar un aspecto suave y atractivo a la última capa
- Dar una coloración uniforme a la capa exterior





En la capa interior, también en contacto con el exterior, se utiliza una resina top coat.

Para el Proyecto se han seleccionado los recubrimientos del mismo fabricante de la resina Ashland, en busca de una máxima compatibilidad de productos y con objeto de negociar un mejor precio en la adquisición de los mismos.

El gel coat y top coat utilizado es la línea **ENGUARD GE**. Un recubrimiento con buena resistencia a la hidrólisis y estabilidad a la luz UV aprobado por la Sociedad de Clasificación Det Norske Veritas (DNV), entre otras.

El reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft” del DNV en Pt.2 Ch.4 Sec.2 C400, sobre las propiedades retardantes del fuego en los gel coat y top coat, indica que la capa superior debe estar producida por una base de resina que cumpla con lo especificado en el apartado C200 para resinas retardantes del fuego; y deben ser capaces de soportar la exposición prolongada a la intemperie, sin signos visibles de agrietamiento, depósitos de materia o cambio fuerte de color.

## 2.4. Elección de las fibras de refuerzo

Como refuerzo del material compuesto se pueden utilizar tanto fibras inorgánicas (fibra de vidrio y fibra de carbono), como fibras sintéticas (fibra de aramida). A la hora de determinar cual es el tipo de fibra a utilizar, es necesario que se tengan en cuenta cuatro aspectos de las propiedades de las fibras particularmente relevantes:

### 1. Propiedades específicas.

Probablemente, el factor más importante que ha conducido al rápido desarrollo de los materiales compuestos es la reducción de peso que puede conseguirse a partir del uso de fibras de baja densidad con alto módulo elástico y resistencia.

El módulo de Young específico y la resistencia a la tracción específica se definen como el módulo y resistencia medidos divididos por la densidad, respectivamente, y según esto se puede decir que las fibras de carbono son muy superiores a las fibras de





vidrio E en términos de módulo elástico específico.

Las fibras Kevlar 49 son significativamente mejores que las fibras de vidrio E pero inferiores a las de carbono. El Kevlar 49 tiene una resistencia a la tracción específica un 40-50% mayor que las fibras de vidrio E y de carbono.

## 2. Estabilidad térmica

En ausencia de aire y de otras atmósferas oxidantes las fibras de carbono poseen unas propiedades excepcionalmente buenas a altas temperaturas. Las fibras de carbono mantienen sus propiedades superiores bien por encima de los 2000 °C. Para aplicaciones que incluyan matrices de polímeros, esta propiedad no puede ser aprovechada porque la mayoría de las matrices pierden sus propiedades por encima de los 200 °C.

El vidrio bruto tiene una temperatura de ablandamiento de aproximadamente 850°C pero la resistencia y el módulo de elástico de las fibras de vidrio E disminuyen rápidamente por encima de los 250 °C. Aunque la estabilidad térmica del Kevlar 49 es inferior a la de ambas fibras.

Además de la conservación de propiedades durante el uso en servicio a altas temperaturas, es esencial que no produzca deterioro de las propiedades durante las operaciones de fabricación. Los cambios en las propiedades del vidrio parecen ser casi reversibles con la temperatura, pero el Kevlar 49 puede sufrir un deterioro irreversible debido a cambios en la estructura interna. Además, las fibras de Kevlar experimentan una grave fotodegradación bajo la exposición a la luz solar. Ambas luces, la visible y la ultravioleta causan efectos, conduciendo a la decoloración y la reducción de las propiedades mecánicas.

## 3. Propiedades en compresión

Se ha encontrado que la rigidez axial en compresión es aproximadamente la misma que en tracción para todas las fibras. Sin embargo, la resistencia a la compresión longitudinal de láminas unidireccionales orientadas fabricadas con Kevlar



es solo un 20% de su resistencia a tracción. La baja resistencia a compresión del Kevlar es debida a las propiedades anisótropas de la fibra y a la baja rigidez a cortadura. A tracción las cargas son soportadas por los enlaces covalentes, pero en compresión los débiles enlaces de hidrógeno y las fuerzas de Van der Waal hacen que se produzca esta relajación local y deshilachamiento.

#### 4. Flexibilidad y rotura de las fibras:

Todas las fibras rompen de manera frágil a tracción sin ninguna deformación o fluencia. Las fibras de carbono y vidrio son casi completamente frágiles y se rompen sin ninguna reducción de área de la sección recta. En contraste las fibras Kevlar rompen de forma dúctil. La fractura a menudo implica el deshilachado de las fibras. Algunas de las características de la estructura fibrilar se ponen en evidencia en la superficie de las fibras que se observan en la siguiente imagen:

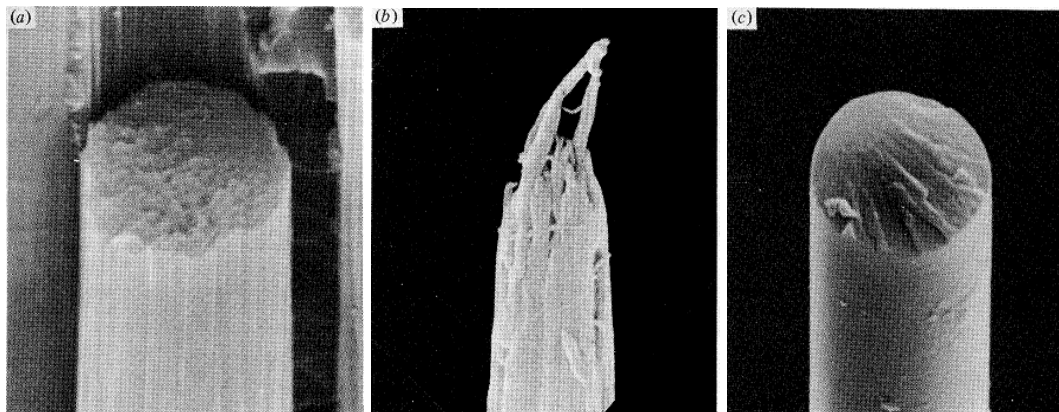


Figura 3. Micrografía de fibras rotas a tracción (Carbono, Kevlar 49, Vidrio)

Para nuestro caso, las fibras que más se adaptan a nuestras necesidades son las de carbono y las de vidrio, ya que combinan muchas propiedades que las hacen capaces de cumplir con el objetivo de este Proyecto, como son la baja densidad de la fibra, así como una elevada estabilidad térmica que no poseen las fibras sintéticas. Pero existe un factor predominante que no ha sido tenido en cuenta en el estudio de las propiedades a la hora de resolver la elección, y es el coste.

Es la fibra de carbono un refuerzo excelente para la obtención de una



embarcación, pues entre sus principales características se encuentran una elevada resistencia y rigidez, alta resistencia a la vibración, buena conductividad térmica, y es resistente a elevadas temperaturas, entre otras muchas propiedades, pero presenta una gran desventaja que la hace inviable para el proceso productivo en estudio, y es su elevado coste. La construcción en fibra de carbono se reserva para embarcaciones muy específicas, como por ejemplo los flamantes catamaranes clase AC72 competidores por la 34ª America's Cup, con un coste total de 11 millones de euros.

Es por ello que el refuerzo que se utilizará para la obtención del composite será la fibra de vidrio, que posee características similares a las de la fibra de carbono, y cumple con creces las necesidades y requerimientos del producto que se atiende en este proyecto, pero con la gran ventaja, de ser económicamente mucho más rentable, factor que en este caso prevalece sobre el resto de características y propiedades de las fibras.

De los tipos de fibra de vidrio que podrían utilizarse para la fabricación del barco, la elegida será la **fibra de vidrio de tipo E**, vidrio de borosilicato de calcio y aluminio con un contenido bajo o nulo de potasio y sodio, debido a que posee una buena resistencia a la humedad.

#### 2.4.1. Elección de las estructuras textiles

De los diferentes tipos de estructuras textiles que puede presentar la fibra, las elegidas para la fabricación serán los fieltros de mechas cortadas, denominados también Chopped Strand Mat (CSM), o comercialmente MAT, que se puede definir en base a:

- Título. También llamado densidad lineal, es la relación entre el peso, de un filamento, y su longitud. La unidad de medida, del título, es el tex, de forma que  $1 \text{ tex} = 1 \text{ g/Km}$ .
- Gramaje. Es la cantidad de peso, de un tejido, que hay por unidad de superficie. La unidad de medida, del gramaje, es el  $\text{g/m}^2$ .



El MAT de refuerzo, está formado por hebras de un título sobre 400 tex y con unos gramajes comprendidos entre 100 y 900 g/m<sup>2</sup>, siendo los más comúnmente empleados para nuestro caso los de 300, 450 y 600 g/m<sup>2</sup>.



Figura 4. MAT 300

El MAT tiene gran facilidad para impregnarse bien de resina. Pero hay que tener en cuenta que no todos requieren, en su utilización, de una misma proporción de resina; así, los de gramajes pequeños (hasta unos 300 g/m<sup>2</sup>) requieren de unas 4 veces de peso de resina, del peso de MAT. Sin embargo, los de superiores gramajes, necesitan menos resina.

Dada la distribución y orientación de las hebras en todas direcciones, se obtiene un reparto omnidireccional de las propiedades mecánicas propias del laminado.

Los principales motivos que hacen que se elija esta textura en la disposición de la fibra, son que el MAT presenta una serie de grandes ventajas, como son la buena impregnación, la isotropía, la facilidad de manejo manual, así como la adaptación a superficies difíciles.

Respecto a los tejidos, el elegido es un woven roving de tela o tafetán (WR), hay que tener en cuenta que la forma en que se entrelazan los hilos de trama y urdimbre hacen que se obtenga un tejido con una superficie muy rizada, y esta distorsión en los hilos produce una merma en las propiedades mecánicas de los mismos. Además, el



excesivo entrelazado entre hilos dificulta la penetración de la resina. Pero como aspecto positivo y decisivo, se ha de indicar que da unas buenas características de espesor en el laminado, y otro aspecto significativo es que se consigue un tejido fácil de trabajar con la mano. Se utilizará WR con dos gramajes diferentes, de 600 y de 800 gr/m<sup>2</sup>.



Figura 5. WR 800

Para la fabricación de los refuerzos se usan además tejidos de tipo unidireccional, donde se requiere las características mecánicas óptimas en una dirección determinada.

## 2.5. Elección del núcleo

Como ya ha sido expuesto, los núcleos se pueden clasificar en cuatro grandes bloques:

- Maderas naturales
- Espumas sintéticas
- Nido de abeja
- Fieltrós

La maderas naturales, en general, a pesar de algunas tener muy buenas propiedades, como es el caso de la madera balsa, presentan una gran desventaja que



las hacen inviables para el producto, y es que poseen, una capacidad de absorción de resina muy elevada, producto de su elevada porosidad, y además no se suele utilizar para superficies que estén en contacto permanente con el agua y la humedad, lo que las hacen inapropiadas para el uso de gran cantidad de elementos que lleva la embarcación, quedando totalmente descartadas.

El nido de abeja sin embargo presenta muy buenas propiedades que la hacen apta para nuestro objetivo, pero generalmente solo se utilizan en la construcción de embarcaciones de alto rendimiento, especialmente en cubiertas y mamparos, dado que en zonas sumergidas existe un riesgo potencial de absorción de agua. Son su elevado coste y una compleja técnica de encolado las razones fundamentales de su limitada utilización, como por ejemplo la eficaz vela rígida del citado anteriormente AC 72.

Como material de núcleo estructural se ha seleccionado la espuma sintética, concretamente una **espuma de cloruro de polivinilo (PVC)**.

Para aumentar el espesor y en mínima medida el peso de la estructura a fabricar, así como para aumentar la rigidez de la misma, se utiliza la espuma de PVC, debido a que ésta presenta buena resistencia mecánica, buena resistencia térmica, posee buenas características como aislante acústico y tiene una alta resistencia a la penetración de agua; y comparada con el resto de espumas sintéticas, posee las mejores propiedades, lo que, sumado a su adaptabilidad a superficies con doble curvatura, la convierte en la más idónea para el Proyecto. Además la espuma de PVC mantiene sus propiedades mecánicas inalterables hasta 60°C, temperatura que generalmente no alcanzará la embarcación en condiciones normales de utilización. El PVC que se usará concretamente será PVC lineal 80, que presenta una capacidad una buena capacidad de absorción de impactos y cumple con lo especificado por el reglamento "Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft" del DNV.

También se usarán las **espumas de poliuretano**, en este caso no con la misma finalidad que la espuma de PVC, es decir, no para aumentar el espesor de la estructura,



sino para la fabricación de los refuerzos, tanto de los moldes, como de las piezas que sean necesarias según las especificaciones del diseño del buque, de manera que estos refuerzos harán que las estructuras sean más fuertes y resistentes, evitándose problemas de pandeo y deformaciones en las piezas de grandes dimensiones.

Con esto quedan definidos los materiales que se necesitan para la construcción del barco y que formarán parte de la estructura del mismo. En la fabricación de la estructura se hace uso de otros materiales y compuestos que no han sido citados en este apartado, pero que son necesarios para la elaboración de determinadas actividades, imprescindibles para la producción, tales como compuestos para la limpieza de los moldes, masillas, ceras desmoldeantes, adhesivos, etc.





### **3. Proceso de fabricación**

#### **3.1. Introducción**

En la construcción con materiales tradicionales, las piezas se confeccionan a partir de un material ya constituido al que se le da otra forma. Su calidad puede ser controlada en una etapa previa a la fabricación, y es posible determinar posibles fallos así como estimar la conveniencia de su uso.

En la construcción con materiales compuestos, las piezas y el material surgen simultáneamente del propio proceso de fabricación. Por esta razón, el proceso de manufactura adquiere una importancia mayor que en el resto de procesos de manufactura para materiales comunes.

Existen, a nivel industrial, una gran cantidad de técnicas de fabricación con materiales compuestos, pero en el caso de la construcción de barcos, dicho número se ve sensiblemente reducido dado el gran tamaño de las piezas a construir.

Por tanto, los procesos aptos deben ser flexibles y permitir ciertos márgenes, para poder compensar la fabricación en condiciones que, en la mayoría de las veces, distan mucho de ser ideales.

Se deduce entonces la importancia que tiene la elección del método de fabricación y su posterior desarrollo, como condicionantes de las características físicas y mecánicas finales de la pieza.

#### **3.2. Clasificación y análisis de los procesos de fabricación**

Entre los procesos más idóneos en la construcción naval en materiales compuestos de embarcaciones podemos señalar:

1. Moldeo por contacto:
  - a. Laminación por contacto





- b. Proyección simultánea
  - c. Impregnadores
2. Moldeo asistido por vacío:
- a. Laminación por contacto asistido por vacío
  - b. Preimpregnados
  - c. Preimpregnados parciales
3. Moldeo por vía líquida:
- a. RTM: Técnicas de transferencia de resina
  - b. VARTM: Moldeo por inyección bajo vacío
  - c. Infusión

Cada proceso de fabricación fue desarrollado con una finalidad específica, para luego derivar hacia otras áreas industriales en las cuales se le encontró una nueva utilidad. Todos los métodos presentan ventajas e inconvenientes, y realizar un estudio comparativo entre ellos resulta tarea casi imposible, dada la gran cantidad de variables que entran en juego.

Se incluye a continuación una aproximación comparativa de los procesos citados para una mejor comprensión y poder justificar la elección del proceso de fabricación final. En esta comparativa se realizaron múltiples simplificaciones, puesto que algunos procesos no son perfectamente comparables entre sí. Los resultados ofrecidos pueden ser considerados como valores normales en la construcción de buques. La problemática de la construcción naval es muy específica y la actividad de un astillero casi nunca se orienta exclusivamente a los procesos de fabricación con materiales compuestos, sino que dichas técnicas son un eslabón más en una larga cadena que tiene como finalidad conseguir un producto equilibrado.



### 3.2.1. Contenido de refuerzo

Una de las propiedades más significativas de un material compuesto desde el punto de vista ingenieril es la proporción de material de refuerzo en el global del laminado.

Con ella se establecen las principales propiedades mecánicas del laminado resultante, obteniendo mayores propiedades cuanto mayor sea el porcentaje de refuerzo en su constitución.

Es evidente que existen límites superiores e inferiores al contenido de refuerzo, dado que fibras resacas dejarían de comportarse como un material compuesto, y que fibras excesivamente impregnadas sólo aportarían más peso a la estructura sin proporcionarle más resistencia a cambio.

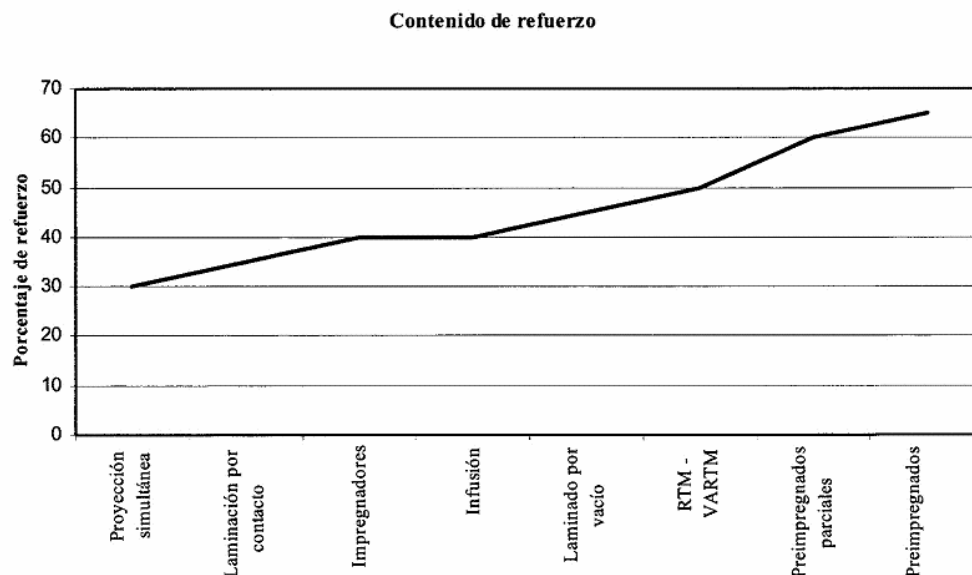


Figura 6. Contenido de refuerzo en función del proceso de fabricación

El contenido de refuerzo se determina mediante un ensayo de calcinación, en el cual se introduce una probeta del laminado previamente pesada en una mufla de laboratorio; se eleva entonces la temperatura hasta que se calcina la resina (por encima de 600° C), y luego se vuelven a pesar los residuos restantes. Así queda



entonces establecido el porcentaje de refuerzo presente en el laminado.

Se deduce aquí que los laminados con menor cantidad de resina, o si se prefiere, con mayor porcentaje de fibra, serán aquellos obtenidos por procesos que se sirven de una presión externa para compactar el laminado antes de que se alcance el punto de gel de la resina.

### **3.2.2. Coste de utillajes y equipos**

Cada método requiere de útiles de trabajo y equipos específicos. El mayor coste de estos materiales de trabajo, asociados a cada uno de los métodos, suele estar ligado a una mayor calidad del laminado. Así por ejemplo, serán muy diferentes los requerimientos de un molde para realizar piezas mediante laminado por contacto manual que uno que se utilice para fabricar piezas de preimpregnados, en el cual los criterios de estabilidad térmica y resistencia a la presión de trabajo son determinantes del alto coste final.

Además de los moldes, se analizan aquí todas las herramientas manuales necesarias para realizar el trabajo de laminado, las instalaciones con sus equipos auxiliares, los sistemas de adquisición y control de datos, así como los equipos y elementos de protección sanitaria y medioambiental.

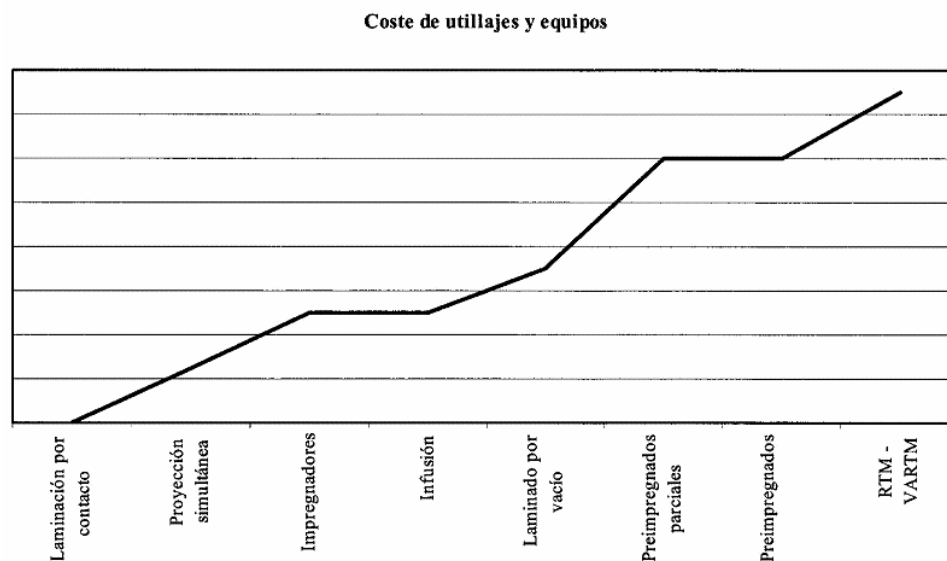


Figura 7. Coste de utillajes y equipos en función del proceso de fabricación

### 3.2.3. Emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV)

La mayoría de resinas poseen en su composición compuestos orgánicos volátiles, como por ejemplo el monómero de estireno en las resinas de poliéster y viniléster. Estos compuestos orgánicos, una vez realizado el laminado, tienden en gran medida a evaporarse, contaminando el ambiente de trabajo y ocasionando problemas de salud a los trabajadores.

Esta contaminación del ambiente de trabajo se produce en dos fases: la primera, denominada fase dinámica, se produce desde que la resina se encuentra en estado líquido hasta que alcanza el punto de gel; la segunda, denominada fase estática, es consecutiva de la primera, y se produce cuando la resina se encuentra en forma de sólido.

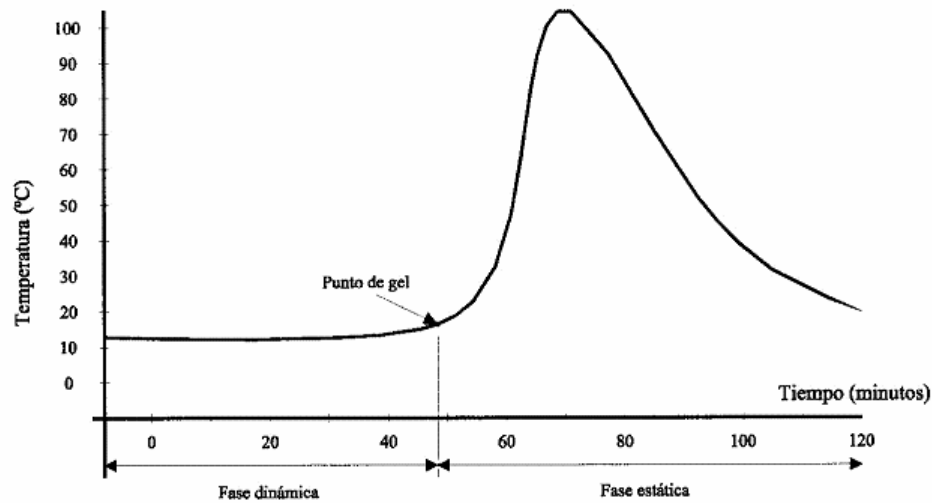


Figura 8. Fases de la contaminación del ambiente

La primera fase de contaminación es la más agresiva, ya que el estado líquido de la resina facilita la evaporación de los compuestos orgánicos; la superficie de la resina está continuamente perturbada y las emisiones son difíciles de controlar.

La fase estática se produce una vez se ha concluido el laminado y la resina se encuentra en estado gel/sólido; la elevación de la temperatura fruto de la reacción exotérmica acelera la evaporación del disolvente, y a medida que avanza el grado de curado de la pieza disminuyen las emisiones.

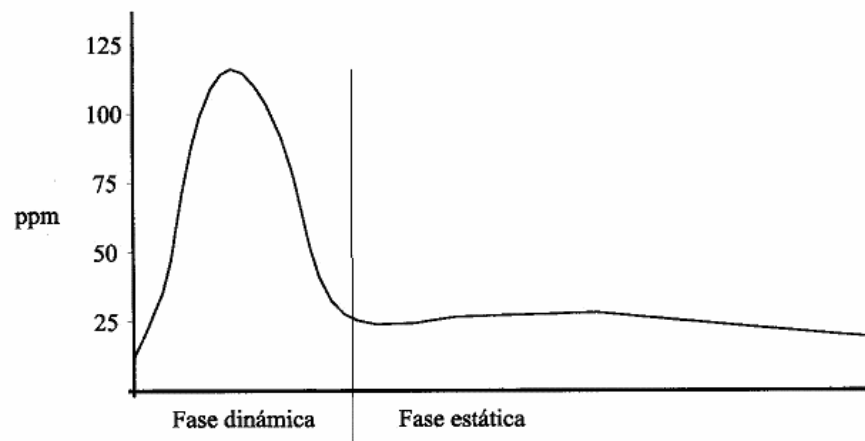


Figura 9. Emanaciones en ppm en función de las fases

El nivel permisible de emanaciones se encuentra regulado para cada país, y dicho



número se encuentra relacionado con el volumen del local, la superficie del laminado, el proceso de fabricación empleado, el tipo de resina y el tratamiento al que se somete el aire del local de trabajo.

País	TLV-TWA,ppm	TLV-STEL, ppm
Alemania	20	40 (30min)
Austria	50	100 (15min)
Bélgica	50	100 (15min)
Dinamarca	25	25'
España	50 (20) <sup>2</sup>	100 (40 <sup>2</sup> )(15min)
Finlandia	20	100 (15min)
Francia	50	—
Holanda	25	50 (15min)
Italia	50	100 (15min)
Luxemburgo	20	40 (30min)
Noruega	25	37.5 (15min)
Reino Unido	100 <sup>4</sup>	250 (10min)
Suecia	20 <sup>3</sup>	50 (15min)
Suiza	50	100 (4x10min)
<sup>1</sup> Límite máximo		
<sup>2</sup> R.D. 374/01		
<sup>3</sup> 10 ppm para nuevas instalaciones		
<sup>4</sup> Obligación de reducir lo máximo posible		

Tabla 4. Niveles permibles de emanaciones

El TLV-TWA (*Threshold limit values - time weighted average*) representa la concentración media de un contaminante en el aire ponderada en el tiempo, por 8 horas diarias o 40 semanales, por debajo de la cual se puede estar expuesto repetidamente.

El TLV-STEL (*Threshold limit values - short term exposure limit*) representa la concentración a la que los trabajadores pueden estar expuestos de manera continua durante un corto período de tiempo (15 minutos).

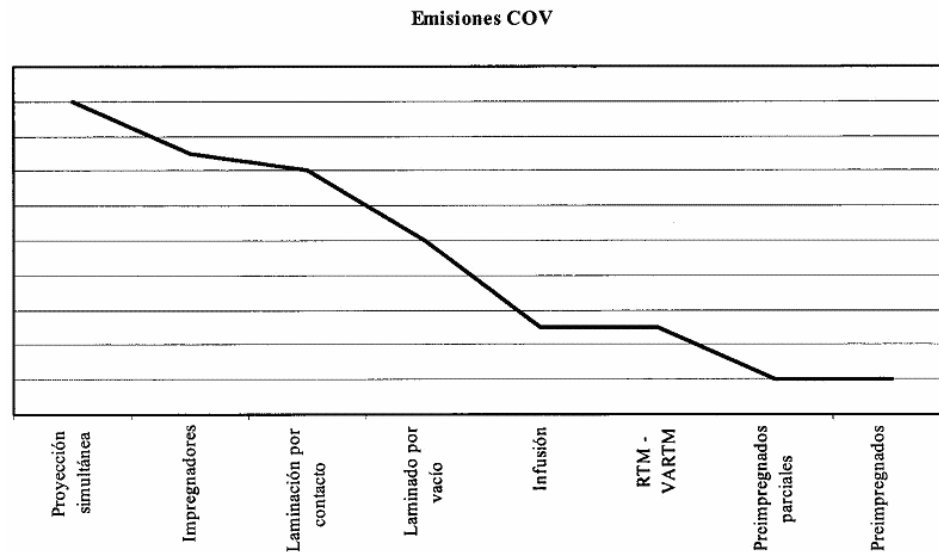


Figura 10. Emisiones COV en función del proceso de fabricación

Con el fin de reducir o eliminar las emanaciones de compuestos orgánicos volátiles en el ambiente se han desarrollado nuevas tendencias en materiales y procesos de fabricación.

Las tendencias relacionadas con los materiales se basan en modificar la composición de las resinas, disminuyendo o sustituyendo tales componentes por otros menos contaminantes.

Las tendencias relacionadas con los métodos de producción se fundamentan en utilizar técnicas de moldeo conocidas como de molde cerrado, en las cuales, mediante la utilización de membranas o contramoldes, se evita la evaporación del compuesto contaminante. Es el caso, por ejemplo, de los métodos de infusión, de laminado por vacío, el RTM y los preimpregnados.

#### 3.2.4. Número de unidades a construir

El número de unidades que deben producirse determina en gran medida la elección del proceso de fabricación.

Si bien en la industria en general suele considerarse una alta producción la



construcción de más de 10.000 unidades anuales de una pieza, en la construcción naval se considera como elevada producción la fabricación de más de 20 unidades durante el mismo período. De este hecho deriva que muchos procesos desarrollados para fabricar piezas en materiales compuestos no tengan aplicación en el campo naval, dado que su puesta en marcha y posterior amortización resultaría irrealizable con niveles tan escasos de productividad.

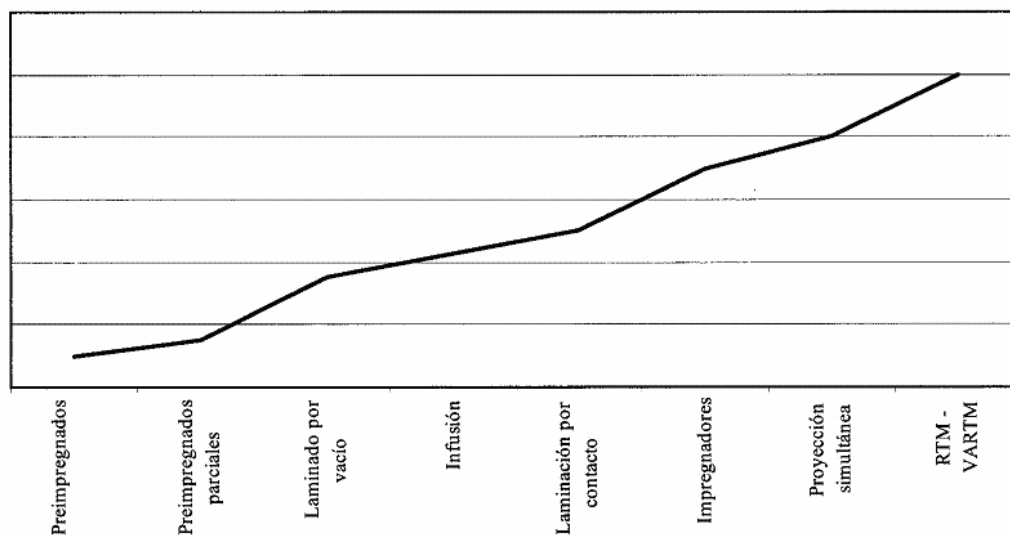


Figura 11. Número de unidades a construir en función del método de fabricación

Así, quedan entonces al alcance del constructor, por un lado, métodos cuasiartesanales como el laminado por contacto manual, laminados por vacío y preimpregnados; procesos que serán utilizados por la gran mayoría de astilleros y pequeños talleres en la fabricación de un reducido número de unidades. Por otro, métodos derivados de conceptos automotrices de producción, como el RTM y el VARTM, que serán utilizados por las grandes empresas multinacionales del sector y que producen un elevado número de embarcaciones.





### 3.3. Elección del proceso de fabricación

Una vez especificados los materiales y compuestos usados para el escantillonado del Trimarán, y tras el análisis de cada uno de los métodos de fabricación de materiales compuestos que pueden utilizarse para la obtención del producto, se ha decidido que debido a sus principales ventajas, y principalmente debido a su menor coste y su simplicidad de ejecución, el método previsto para la fabricación del buque es el **laminado de contacto o moldeo a mano**. Este proceso, consiste en la aplicación de sucesivas capas de material de refuerzo sobre un molde, para impregnarlas gradualmente con resina mediante la acción de un rodillo o brocha.

Las ventajas que presenta esta técnica de fabricación son:

1. Los equipos necesarios son de extrema sencillez y su coste es bajo.
2. El coste de la materia prima es reducido.
3. Dada su simplicidad no requiere mano de obra excesivamente cualificada.
4. No existen límites respecto del tamaño de piezas a producir.
5. El coste de los moldes es el más bajo entre todos los procesos de producción.
6. Es un método ideal para producciones cortas y para piezas de gran tamaño.
7. Se pueden emplear todo tipo de refuerzos y resinas.
8. Se pueden usar tanto para estructuras sándwich como monolíticas.
9. En general no requiere de procesos térmicos posteriores.

Las desventajas que presenta esta técnica de fabricación son:

1. Los laminados son de calidades inferiores a los obtenidos con otros métodos (uniformidad, homogeneidad y porosidad).
2. El contenido de refuerzo es bajo, entre 25 y 35%.



3. Existe una fuerte dependencia de la habilidad y motivación del operario.
4. Requiere, en general, de numerosa mano de obra.
5. La productividad es baja debido a lo artesanal del proceso.
6. Los factores ambientales como temperatura y humedad pueden condicionar el proceso.
7. Provoca elevadas emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV).
8. Se producen gran cantidad de desperdicios.
9. El acabado superficial sólo es realmente bueno en la superficie que está en contacto con el molde.

No existe un método que se pueda considerar ideal para este tipo de construcción, todos tienen ventajas e inconvenientes, que los hacen más o menos adecuados para cada tipo de elemento a fabricar.

La elección de la técnica a usar por el constructor depende de múltiples factores. En este caso el método ha sido el elegido por las siguientes razones:

- Es uno de los métodos que introducen menor porcentaje de refuerzo en la composición del material compuesto, del orden del 30 al 40%. Pero es el suficiente para el proyecto en estudio y no necesita de cantidades mayores, siendo estos porcentajes los recomendados por el proyecto de diseño de la embarcación.
- Es el método que presenta menores costes de utillaje y equipos de todos los estudiados.
- No es el método que produce la menor cantidad de emisiones de compuestos orgánicos volátiles. Mediante esta técnica se generan emisiones que se encuentran por debajo del límite de exposición al estireno para cualquier país europeo, lo que lo hace apto para el objetivo que se pretende conseguir, cumpliéndose las normas legales de emisión de gases tóxicos y



contaminantes.

- La sencillez de proceso que permite utilizar todo tipo de resinas y estructuras textiles, no existiendo límites en el tamaño de la pieza a fabricar; y que no requiere de costosos procesos térmicos posteriores para alcanzar sus máximas propiedades.
- Es el proceso es ideal para producciones bajas o unitarias.

En resumen, es un método sencillo de llevar a cabo y permite obtener resultados satisfactorios al menor coste, puesto que el objetivo debe ser competir con los “asequibles” precios de construcción en aluminio.

### **3.4. Descripción del proceso de moldeo por contacto**

Las técnicas de moldeo por contacto son aquellas en las cuales la mano del hombre juega un papel muy importante en la constitución del material compuesto. Las características físicas y mecánicas del laminado dependerán en mayor medida de lo cuidadoso que sea el operario durante su elaboración. Las técnicas de moldeo por contacto utilizan resinas que curan a temperatura ambiente, como las seleccionadas en el apartado 2.1. Son las técnicas más sencillas, más económicas y las más artesanales.

Dentro de este grupo se encuentran las técnicas de laminado manual, proyección simultánea y moldeo con impregnadores.

Antes de proceder a describir la técnica de laminado manual que ha sido seleccionada para el Proyecto del Trimarán, se dan algunas pinceladas sobre los modelos y los moldes que sirven para la laminación de la estructura.

#### **3.4.1. Modelos y moldes**

La fabricación de todos los elementos en materiales compuestos requieren siempre de un molde, que es a veces el positivo, a veces el negativo. La elección del



molde se hace en función de cuál ha de ser la parte que presente una superficie pulida, con un grado de acabado definitivo.

Para la construcción de los cascos del barco se debe utilizar un molde que represente el negativo de las formas, el denominado molde hembra, con el objetivo de obtener una superficie lisa en la cara exterior.

Se utilizará un **molde de fibra de vidrio**, al igual que el material de la estructura del buque. Los moldes de fibra son los mas utilizados. Para ello previamente se realizará un modelo en madera a tamaño natural con un gran acabado, liso y pulido, que reproduzca con total fidelidad las formas requeridas. A partir del modelo se procede al laminado para obtener el molde, el cual se reforzará exteriormente y que deberá dejarse curar al menos dos semanas.

El molde se realizará en varias piezas para facilitar el desmoldeo y facilitar la realización del casco central y los laterales. Se propone la fabricación de cuatro moldes: dos para cada uno de los casco laterales, y otras dos para el casco central.

Los moldes del casco central se acoplarán en crujía mediante unas pestañas unidas a tope por pernos y tuercas. Los moldes de los cascos laterales se unirán por un procedimiento parecido en la zona de los túneles.

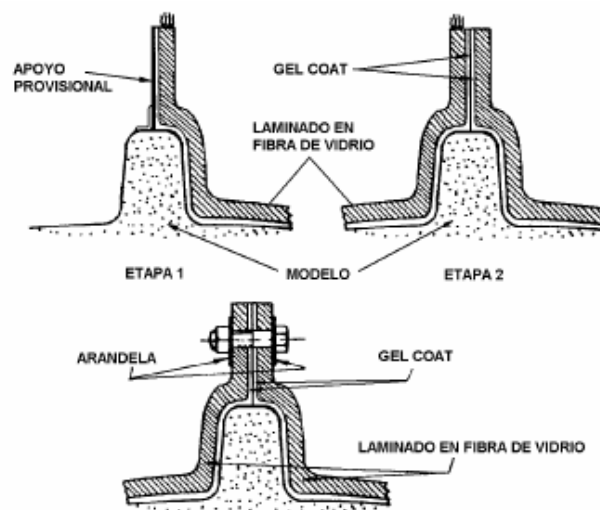


Figura 12. Unión de moldes



### 3.4.2. Laminado a mano

El laminado a mano es una de las más antiguas técnicas conocidas en la fabricación de piezas con materiales compuestos, es el proceso de fabricación más simple y más utilizado en la construcción naval.

Este método será el utilizado en la construcción del forro exterior del buque, del casco central, los cascos laterales y el espejo de popa.

La técnicas de laminado por contacto aprovechan las ventajas de los sistemas de matrices de poliéster y viniléster en su procedimiento de curado, que no necesitan de la aportación de calor externo para su completa polimerización, ni tampoco de alta presión de moldeo para su estratificación.

A pesar de ser una técnica sencilla y artesanal, con mucha dependencia de la habilidad del operario, continúa siendo a lo largo de los años la más difundida, tanto por su bajo coste como por su adecuación a piezas de diferentes geometrías y tamaños, y porque además no presenta excesivos problemas.

La temperatura del aire en la zona de laminación debe estar entre 20°C y 25°C. Si la temperatura baja de los 20°C se utilizará un catalizador adecuado, y si llegase a descender por debajo de 15°C se suspenderán los trabajos mientras que no se alcance una temperatura óptima de trabajo en la nave.

El grado de humedad será otro parámetro a vigilar. Es importante no laminar en ambientes muy húmedos, pues la humedad del aire impide la solidificación de la resina y esto no puede ser modificado a través de ningún producto químico.

De los párrafos anteriores se deduce que las condiciones ambientales de la nave donde se lleve a cabo la fabricación del Trimarán deberán estar convenientemente controladas, haciendo que los valores de temperatura y humedad se mantengan constante dentro de los parámetros requeridos para un adecuado curado del laminado.

El primer paso antes de proceder al moldeo será adecuar el estado del molde:



- Retirar cualquier partícula de polvo, residuo o humedad.
- Reparar cualquier tipo de defecto superficial del molde.
- Limpiar el molde con agua y un detergente suave.
- Lijado de la superficie para eliminar posibles restos de cera u otras partículas. Se comenzará con lijas de grano grueso para ir bajando progresivamente de tamaño de grano.
- Pulido mediante una máquina a la que se le acoplan piezas de lana girando entre 1500 y 3000 rpm.
- Limpieza de la superficie con paños de algodón.
- Abrillantado a base de productos específicos para obtener una superficie de calidad.
- Aplicación de la cera desmoldeante. Se realiza a mano, capa a capa, y de forma homogénea hasta conseguir el espesor adecuado recomendado por el fabricante para evitar posteriores problemas durante el desmoldeo.

Una vez preparado el molde, se procede a realizar el laminado a mano siguiendo las siguientes fases:

1. Aplicación del gel coat.
2. Cortado de las telas.
3. Dosificación de la resina, impregnación de las telas y consolidación del laminado.
4. Desmoldeo.

#### *3.4.2.1. Fase 1 - Aplicación del gel coat*

La aplicación del gel coat mediante brochas y rodillos se realizará siguiendo las siguientes recomendaciones:



- Se utilizarán preferentemente brochas de cerdas suaves de color blanco o claro y que no suelten pelo.
- Para superficies grandes se utilizarán brochas de 5 a 7,5 cm de ancho, aunque para trabajos más generales son más apropiadas las de 2,5 a 4 cm.
- La aplicación del gel coat se realizará dirigiendo la brocha en un único sentido, y nunca hacia delante y hacia atrás.
- En caso de utilización de rodillos en la aplicación del gel coat sobre grandes superficies para acelerar el trabajo, la operación deberá hacerse como mínimo dos veces, dejando solidificar la capa alrededor de hora y media antes de aplicar la siguiente.

No obstante, se recomienda la aplicación del gel coat mediante una pistola tipo “aireless” en la que resina y catalizador se proyectan por la propia presión de la bomba de la máquina. La no utilización de aire para proyectar el gel coat evita la inclusión de burbujas de aire, que deben eliminarse necesariamente de existir.

La aplicación del gel coat mediante pistolas “airless” se realizará siguiendo las siguientes recomendaciones:

- El gel coat se proyectará a una distancia mínima de entre 50 y 60 cm del molde.
- Se dejará curar hasta el estado gel antes de seguir con el laminado.
- El modo más sencillo de comprobarlo es tocar levemente con un dedo limpio el gel coat en una zona de la pieza que se vaya a cortar posteriormente para evitar dejar huella, si se nota algo pegajoso, pero el dedo despegue limpio, entonces el gel coat se encuentra en el momento oportuno para la laminación.



Figura 13. Pistola “airless” para aplicación de gel coat

#### 3.4.2.2. Fase 2 – Cortado de las telas

En primer lugar, se debe proceder al estudio del posicionamiento relativo de las diferentes capas que van a conformar el laminado, por lo que es preciso realizar un planteamiento adecuado que permita explicar los diferentes cortes a realizar.

Se utilizarán tijeras o cuchillas para cortar manualmente el tejido sobre unas mesas, en uno de cuyos extremos se disponen los rollos sobre rodillos de manera para que puedan hacerse girar.

Otra opción, es realizar el corte por control numérico sobre mesas especiales, en donde se sigue una plantilla con las formas de las telas a cortar.

#### 3.4.2.3. Fase 3 – Dosificación de resina, impregnación de telas y consolidación

La cantidad de resina a utilizar no es aleatoria, pues en cada capa hay que utilizar la cantidad necesaria para obtener la proporción fibra/resina adecuada.

Los laminados son menos resistentes cuando llevan mayor proporción de resina que la adecuada para la fibra correspondiente. Por este motivo, se tomará un especial cuidado en que, por peso de capa de laminado, la proporción de fibra en tejido MAT sea de alrededor de 0,3, y en tejido Roving de 0,5.





Una vez aplicada la capa del gel coat, el laminado a mano consiste en colocar manualmente telas de fibra cortadas sobre el molde, una a una, y la subsiguiente aplicación de la resina. Este proceso se repite hasta conseguir el espesor requerido.

La resina se aplica sobre cada tela mediante brochas, rodillo o pistola, presionando para facilitar la distribución uniforme de la resina y la extracción de burbujas de aire. Todo el vidrio debe estar mojado por la resina, lo cual se hace patente por el cambio de color del vidrio desde un color blanquecino hasta un tono traslúcido.

La impregnación de las telas de fibra con brocha se realiza mediante punteo o chapoteo de la resina sobre ellas, realizando movimientos rotativos en pequeños círculos con el fin de que impregne correctamente, asegurar que la mezcla sea uniforme, que no se desplacen las fibras y eliminar burbujas de aire.

La brocha circular y de cerdas duras es la mejor, por lo que a veces es necesario cortar las cerdas al tamaño adecuado para conseguir una brocha más rígida.

El chapoteado irá seguido por la utilización del rodillo para mejorar la impregnación.

Las brochas, después de ser utilizadas con la resina, deben limpiarse con acetona, pudiendo dejarlas en dichos disolvente durante algún tiempo, si fuera necesario. Deberá hacerse una limpieza final, lavando con una solución fuerte en detergente y secando después. Las brochas deberán estar siempre limpias y secas al utilizarlas.

Cuando se trate de grandes superficies, la resina se puede aplicar mediante rodillo, aunque lo más frecuente es la aplicación con pistola tipo “aireless”. Producen un efecto más uniforme de impregnación, y permiten realizar el trabajo con más rapidez.

Una vez aplicada la resina se consolidan las telas de fibra de vidrio y se eliminan las burbujas de aire. Para ello, existen tipos especiales de rodillos con arandelas de nilón o metálicas y el rodillo tipo de rueda dentada. Los rodillos deben limpiarse como



las brochas, aunque los metálicos es más conveniente limpiarlos quemando la resina.

El laminado comienza impregnando la capa de gel coat con resina, sobre la cual se coloca una tela MAT de no más de 300 gr/cm<sup>3</sup>, la cual una vez colocada sobre la resina se impregnará con otra capa de resina, de forma que en esta capa la proporción en peso resina/fibra sea de 2,5 a 1. Se procederá a consolidar el laminado como se ha indicado anteriormente. Con esto se pretende que la fibra quede bien saturada de resina y eliminar todas las burbujas de aire que puedan quedar atrapadas. Posteriormente se colocará otra capa de MAT del gramaje correspondiente según escantillonado.

El motivo de que abunde el tejido MAT en la primera parte del laminado es por razones de aislamiento de las capas interiores del ambiente hostil, debido a la abundante cantidad de resina. Otra razón es que es una zona lo más isotrópica posible para la transmisión de esfuerzos e impactos. Por último, estas capas evitan la prolongación de averías por efecto de la destrucción del ensamaje por efecto de la humedad. Así, si se produce una avería que traspase la capa de gel coat, la humedad se encuentra con una capa abundante de resina y la saturará preservando al resto. No obstante, al entrar la humedad en contacto con la fibra y destruir el ensamaje, se produce una discontinuidad en el laminado, pero debido a la pequeña extensión de las fibras del MAT, no progresará la penetración de la humedad, lo que sigue ocurriendo con el tejido Roving.

Una vez consolidada la segunda capa de MAT, se proseguirá aportando una capa de tejido MAT o Roving del gramaje que corresponda según el escantillonado a realizar, impregnándola con resina y consolidando con rodillo.

Lo normal es utilizar sándwiches de tres telas, es decir, laminados formados por una capa de Roving entre dos capas de MAT, hasta conseguir el espesor requerido del laminado. Es conveniente cada tres capas dejar polimerizar de seis a ocho horas hasta conseguir el estado de gel, para que el calor de la reacción no perjudique las siguientes capas, y posteriormente seguir laminando.



Cuando una zona ha curado y se tiene que proseguir el laminado sobre ella, debe lijarse con una lija gruesa para conseguir que la capa siguiente ligue sobre la zona curada. Esta debe ser una capa de MAT y también la del inicio de la laminación, es por ello que es mejor laminar formando sándwiches. La última capa debe ser también MAT para darle una apariencia más vistosa, utilizando resina top coat como se ha mencionado anteriormente.

#### **3.4.2.4. Fase 4 - Desmoldeo**

Una vez finalizado el laminado, las piezas permanecerán en el molde entre 24 y 48 hrs. en función de su espesor y el tamaño del laminado.

El desmoldeo puede ser una operación sencilla y rápida si se aplicó bien el desmoldeante y el molde se ha proyectado de forma que no interfiera en la salida de la pieza. Se pueden utilizar cuñas de madera para despegar la pieza del molde por sus bordes evitando en la medida de lo posible dañarla.

Una vez realizado el desmoldeo, hay que reparar los posibles defectos que tenga la pieza.

#### **3.4.3. Laminado sándwich**

El procedimiento de fabricación de un panel sándwich como los proyectados en las cubiertas, mamparos o superestructuras es el siguiente:

- Se lamina una de las caras del sándwich sobre el molde, con la misma secuencia que el laminado monolítico o simple anteriormente explicado.
- Una vez consolidada la capa que va a ir en contacto con el núcleo, se procede a colocar el núcleo cuando aún está húmeda, debiendo conseguir ausencia de aire en la unión ya que para que el sándwich sea eficaz al 100% la unión cara-núcleo debe ser totalmente continua.
- En superficies planas, la capa que precede y sigue al núcleo es MAT de 450



gr/cm<sup>3</sup> para conseguir resistencia por la cantidad de fibra, y continuidad por la presencia de abundante resina.

- En superficies curvas, la capa que precede y sigue al núcleo es MAT de 600 gr/cm<sup>3</sup> por razones de resistencia.

#### 3.4.4. Refuerzos tipo omega

Los refuerzos diseñados en la estructura del Trimarán son todos de tipo omega. Se trata de refuerzos realizados en fibra con forma trapezoidal.

La unión de un refuerzo al casco o cubierta requiere en la mayor parte de los casos del empleo de espuma de poliuretano con la forma omega, que se utiliza como formero para fabricarlo.

En caso de perfiles rectos, se pueden fabricar en taller sobre un formero metálico de acero inoxidable, por ejemplo, por lo que no precisan del empleo de espuma.

En ambos casos, la unión del refuerzo al casco o cubierta se realizará mediante el escarpiado de las capas, es decir, procediendo al solape de capas para laminados de soldadura o unión entre piezas laminadas. La primera capa irá de un lado a otro del refuerzo con una longitud de contacto de aproximadamente 50 mm. Las capas subsiguientes tendrán una longitud de contacto adicional de 25 mm sobre la capa previa.

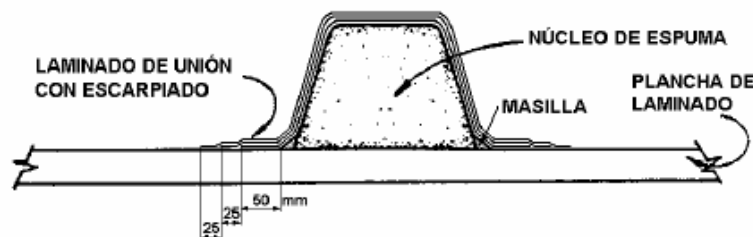


Figura 14. Unión de un refuerzo omega mediante escarpiado



### 3.4.5. Detalles constructivos

La obtención de laminados de cierta extensión se obtendrán por la superposición de telas de la misma capa, unas con otras. Esta superposición se debe hacer:

1. Realizando un solape de 50 mm entre la primera y la segunda tela.
2. Trabajando el solape con la brocha y el rodillo hasta que el conjunto tenga un espesor uniforme.

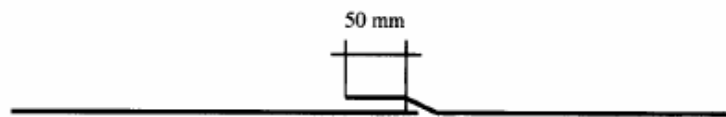


Figura 19.- Solape mínimo entre telas de la misma capa.

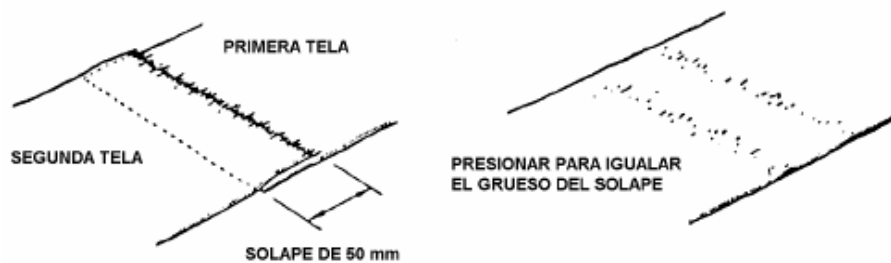


Figura 15. Solape entre telas

Las zonas de unión de telas de diferentes capas deben separarse para evitar una zona debilitada como consecuencia de la acumulación de uniones. En todo laminado se deberán respetar los 50 mm de solape entre telas de la misma capa y una distancia de 150 mm entre solapes de distintas capas.

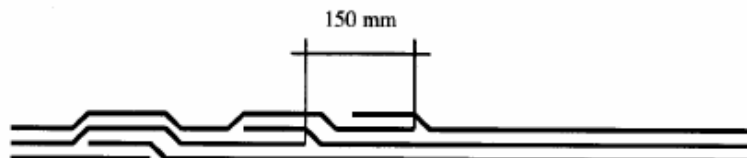


Figura 16. Disposición de uniones en diferentes capas adyacentes



En los cruces de refuerzos longitudinales y transversales, o los cruces con mamparos, se deberá soldar los tramos de refuerzo interrumpido a ambas caras del elemento sólido mediante la técnica del escarpiado.

De igual forma se procederá en las uniones en ángulo entre los mamparos y el casco, o entre los mamparos y las cubiertas.

Las uniones de cubierta con el casco se realizarán utilizando cartelas de unión bao-cuaderna y durmientes de apoyo, además de soldaduras o uniones laminadas.

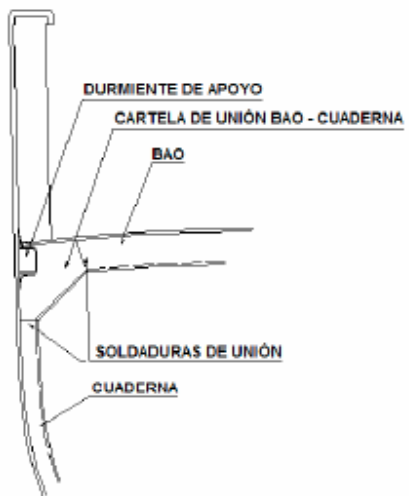


Figura 17. Unión de cubiertas con el casco

Cuando se requiera introducir una pieza de madera o metal que sirva de soporte y anclaje de una máquina o equipo, las piezas se deben introducir durante la laminación y después se cubren con las siguientes capas. Sobre las piezas metálicas irán soldados o empernados los polines correspondientes a los que se fijarán los equipos.

### 3.5. Construcción integrada

En la construcción del Trimarán en fibra de vidrio se empleará el sistema de construcción integrada, mediante una estrategia constructiva basada en la realización de previas, subbloques y bloques de fibra, con armamento por zonas, etapas y



problemas constructivos.

En función de las características del Astillero, se analizará la posibilidad de contemplar distintas líneas de proceso específicas para casco, cubiertas y elementos estructurales, a modo de tren de producción para evitar tiempos muertos. Incluso se posibilitará la temperatura ambiente de la nave para el curado de los cascos y otras piezas mediante estufas, o bien, introduciéndolas en hornos para controlar el curado mediante temperatura.

Aunque el casco se realizará de una sola pieza sobre los moldes, las cubiertas se pueden realizar por bloques en los que una vez realizados las planchas tipo sandwich, se suelden los refuerzos correspondientes.

En general, se fabricarán siguiendo una estrategia adecuada cualquier tipo de refuerzo, previas, subbloques o bloques independientemente. Las uniones entre ellos se realizará teniendo en cuenta los escarpiados adecuados que garanticen la unión.



## **4. Bibliografía**

### Escrita

- Apuntes de “Construcción naval en materiales compuestos”, J.A. MARTÍNEZ. Universidad Politécnica de Cartagena
- “Materiales Compuestos. Tecnología de los plásticos reforzados”, J.L. GONZALEZ, F.E.I.N.
- “Materiales compuestos. Procesos de fabricación de embarcaciones”, A.M. BESEDNJAK, Universidad Politécnica de Cataluña
- “Fire Retardant Polyester Resin Formulations”, Technical Paper, AOC
- Reglamento “Rules for High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft”, Det Norske Veritas.

### Internet

<http://www.ptli.com>

<http://www.aoc-resins.com>

<http://www.ashland.com>





- ESTA PÁGINA HA SIDO INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO -

## Technical Data Sheet

# Norox<sup>®</sup> MEKP-925H

## DESCRIPTION

Norox<sup>®</sup> MEKP-925H is specifically formulated to reduce gas generation in critical corrosion applications for vinyl ester resins in gel coats, barrier coatings, and corrosion resistant structures. The low hydrogen peroxide level in Norox<sup>®</sup> MEKP-925H often requires that the resin promotion system be modified for some resins to obtain reasonable gel times.

## TYPICAL PROPERTIES

Active Oxygen:	9.0% max.
Form:	Liquid
Color:	Water white
Specific Gravity @ 25°/4°C:	1.10
Flash point (C.O.C):	200°F, min.
Flash point (SETA C.C.):	170°F, min.
Soluble in:	Oxygenated organic solvents
Slightly soluble in:	Water

## APPLICATION

Norox<sup>®</sup> MEKP-925H is a methyl ethyl ketone peroxide composition formulated to be an excellent cure initiator for both unsaturated polyester resins and vinyl ester resins. With most unsaturated polyesters it gives much longer gel and gel to cure times but with a higher peak exotherm than Norox<sup>®</sup> MEKP-9, particularly in thick sections. With most vinyl esters Norox<sup>®</sup> MEKP-925H gives the most complete cure of any currently available MEK peroxide.

## PACKAGING, SHIPPING & AVAILABILITY

- The standard package sizes of Norox<sup>®</sup> MEKP-925H are cases of 4x8 lb. polyethylene bottles; and 40 lb. or 20 kg Hedpacks. For custom package sizes, please contact your local distributor or United Initiators SPI, Inc.
  - Classification – Please refer to the specific Norox<sup>®</sup> MEKP-925H Material Data Sheet under section 14, Shipping Description.
  - Norox<sup>®</sup> MEKP-925H is available through a nation-wide distributor network. Call United Initiators SPI, Inc. for the name of the distributor in your area.
- 
- **NOTE:** SDS's for all our products may be requested thru the website [www.syrqispi.com](http://www.syrqispi.com)

### **Disclaimer**

This information and our application-technical advice – whether verbal, in writing or by way of trials – reflect our present state of knowledge based on internal tests with local raw materials. Their purpose is to inform interested parties about our products and their possible application. They should not be construed as guaranteeing specific product properties or their suitability for a particular application. Furthermore, the information does not contain complete instructions for use. Nor does it constitute a guarantee as to quality and durability. Changes due to technical progress and corporate advancement reserved. Any existing third-party copyrights are to be taken into account.

Application and use of our products based on our application-specific advice is beyond our control and sole responsibility of the user. The user is not released from the obligation of verifying the suitability and applicability as to the intended purpose.

enguard®  
gelcoats

# ENGUARD®



## gelcoat guide



ASHLAND®

# ENGUARD®

## hard working quality gelcoats

Ashland Performance Materials is a leading worldwide gelcoat supplier serving the fiber reinforced plastics and cast polymer industries. While Ashland's premium family of MAXGUARD® gelcoats has become synonymous with enduring, beautiful finishes, our ENGUARD® gelcoats are well-known for their years of reliable product performance. Today, you'll find our two gelcoat families all over the world in everything from sailing yachts and high speed trains to truck caps and wind turbine blades and nearly anything in between.

With over 50 years of experience in the thermoset polymer industry, Ashland Performance Materials' highly focused research and development teams have specifically tailored polymeric resins for our gelcoat products. These Ashland-manufactured resins have been carefully blended with a selective group of colorants and additives, to give us our robust, hard-working ENGUARD product family.

As our ENGUARD product family demonstrates, product consistency is a priority at Ashland, and we have a long and successful record of delivering on quality. Our manufacturing teams work constantly to improve production methods and to implement quality methods and systems such as Six Sigma<sup>1</sup>, Lean Manufacturing, and ISO 9001.

Ashland also is an industry leader in environmentally responsible facility operation and product stewardship. Ashland has been incorporating the Responsible Care® guiding principles into our product development, product handling and operations since the inception of the program and also has achieved a top-10 ranking in Fortune magazine's "Most Admired Chemical Companies" for several years.

This ENGUARD Product Guide includes gelcoats, topcoats and color pastes serving many market segments. Our account managers and technical service engineers will guide you to find the right ENGUARD product for your application needs.



ENGUARD® and  
MAXGUARD® gelcoats  
match perfectly with the  
INSTINT® colour concept.  
By using INSTINT you get  
the exact gelcoat color  
tinting in just minutes.



## Ashland Performance Materials

### ENGUARD gelcoat guide

<b>general purpose marine</b>	<b>4</b>
<b>transportation</b>	<b>4</b>
<b>panels / sheets</b>	<b>6</b>
<b>building / construction</b>	<b>8</b>
<b>cast marble / sanitary</b>	<b>8</b>
<b>other products</b>	<b>10</b>
<b>seven check points to a good result</b>	<b>10</b>



gelcoat	characteristics / applications
ENGUARD GE	Gelcoat with good hydrolysis resistance and UV light stability. Lloyds', Det Norske Veritas and Germanischer Lloyds' approvals. Decks, hulls. <b>TM:</b> Topcoat. Boat hulls, interior parts of boats
ENGUARD SI	Gelcoat with good hydrolysis resistance and UV light stability. Lloyds' approval. Decks, hulls. Topcoat version available for interior parts.



gelcoat	characteristics / applications
ENGUARD AE	Gelcoat with excellent fire retardant properties. Classified as AFNOR M1 F3 when laminate built of AROPOL F 804 TF resin. Train interior parts.
ENGUARD GE	Gelcoat with good hydrolysis resistance and UV light stability. Buses, trucks, spoilers, windshields etc. <b>TM:</b> Topcoat. For exterior and interior parts.
ENGUARD SD	Fast curing gelcoat which is easy to sand. For parts to be painted.
ENGUARD SI	Gelcoat with good hydrolysis properties and UV light stability. Buses, trucks, spoilers, windshields etc. Topcoat version available for interior parts.  <b>PR:</b> Promoted gelcoat giving fast curing. For RTM applications. \Parts for buses, trains, etc.

colour	viscosity brookfield rv 10 rpm, 23°C (mpas)	gelttime 2,0% mekp-50 23°C (min)	base resin	tensile strength iso 527 (mpa)	tensile modulus iso 527 (mpa)	elongation iso 527 (%)	hdt iso 75 (°C)
unlimited (incl. RAL, Instint, BS)	spray 6.000 brush 10.000	8 13	Iso	70	3600	3,5	72
unlimited	spray 6.000 brush 8.000	8 13	Iso	60	3200	2,6	75



colour	viscosity brookfield rv 10 rpm, 23°C (mpas)	gelttime 2,0% mekp-50 23°C (min)	base resin	tensile strength iso 527 (mpa)	tensile modulus iso 527 (mpa)	elongation iso 527 (%)	hdt iso 75 (°C)
limited	spray 5.500 brush 9.000	15 15	Het	50	3400	1,7	62
unlimited (incl. RAL, Instint, BS)	spray 6.000 brush 10.000	8 13	Iso	70	3600	3,5	72
limited	spray 5.500 brush 9.000	8 13	Iso	70	3600	2,8	90
unlimited	spray 6.000 brush 8.000	8 13	Iso	60	3200	2,6	75
unlimited	spray 6.000 brush 8.000	5	Iso	60	3200	2,6	75

Consult also our MAXGUARD® Premium Gelcoats product guide.

**MAXGUARD®**  
PREMIUM GELCOATS



gelcoat	characteristics / applications
ENGUARD GC PN	Low emission gelcoat with good UV light stability and impact resistance, containing release agent. Food contact approved. For continuous lamination of panels.
ENGUARD GE	Gelcoat with good hydrolysis resistance and UV light stability. Exterior and interior panels, isolated doors etc. <b>10000</b> : White gelcoat. Food contact approved. Exterior and interior panels, isolated doors etc. <b>TM</b> : Topcoat. For exterior and interior parts.
ENGUARD GI	White pigmented, high-filled gelcoat. Inside container panels, etc.
ENGUARD SD	Fast curing gelcoat which is easy to sand. For parts to be painted.
ENGUARD SI	Gelcoat with good hydrolysis properties and UV light stability For panels, doors, walls, etc. <b>10001</b> : White gelcoat. Food contact approved. Exterior and interior panels, isolated doors, etc. <b>10001 PF</b> : White topcoat. For interior and exterior parts. <b>AD PR</b> : Promoted gelcoat containing release agent. For interior and exterior parts.
ENGUARD SO	Gelcoat for interior parts.
ENGUARD TC	<b>APS V9</b> : Topcoat giving a hard surface for good abrasive resistance. For truck container floors, etc. Topcoat / For interior parts.



colour	viscosity brookfield rv 10 rpm, 23°C (mpas)	gelttime 2,0% mekp-50 23°C (min)	base resin	tensile strength iso 527 (mpa)	tensile modulus iso 527 (mpa)	elongation iso 527 (%)	hdt iso 75 (°C)
white, off-white	spray 5.500	5	iso	75	3400	4,0	89
unlimited (incl. RAL, Instint, BS)	spray 6.000 brush 10.000	8 13	iso	70	3600	3,5	72
white, off-white	spray 6.000 brush 7.500	8 13	ortho	55	3600	2,0	68
limited	spray 5.500 brush 9.000	8 13	iso	70	3600	2,8	90
unlimited	spray 6.000 brush 8.000	8 13	iso	60	3200	2,6	75
unlimited	spray 5.500	5	iso	60	3500	2,6	80
limited	spray 6.000 brush 8.000	8 13	ortho	55	3600	2,0	68
limited	brush 9.000	10	ortho	55	3600	2,0	68
limited	spray 6.000 brush 8.000	8 13	ortho	55	3600	2,0	68



Consult also our MAXGUARD® Premium Gelcoats product guide.

**MAXGUARD®**  
PREMIUM GELCOATS

gelcoat	characteristics / applications
ENGUARD AE	Gelcoat with excellent fire retardant properties. Classified as AFNOR M1 F3 when laminate built of AROPOL F 804 TF resin. Interior walls, parts, furnitures, etc.
ENGUARD GE	Gelcoat with good hydrolysis resistance and UV light stability. Wind turbine blades, silos, facade panels, etc. <b>TM:</b> Topcoat / For interior and exterior parts.
ENGUARD GP	Fast curing, flexible gelcoat. Flagpoles.
ENGUARD SI	Gelcoat with good hydrolysis properties and UV light stability. Wind turbine blades, silos, facade panels, etc. <b>AR:</b> Gelcoat giving a hard surface with good abrasive resistance. Flooring, park slides, etc.
ENGUARD SO	Gelcoat. For interior parts.



gelcoat	characteristics / applications
ENGUARD SA 90007	Transparent gelcoat with good hydrolysis resistance. Sinks, bath tubs, wash basins etc. <b>PF:</b> Topcoat. Sinks, bath tubs, wash basins etc.
ENGUARD SA RL	Gelcoat with excellent hydrolysis and thermo shock resistance. Sinks, bath tubs, wash basins etc.



colour	viscosity brookfield rv 10 rpm, 23°C (mpas)	geltime 2,0% mekp-50 23°C (min)	base resin	tensile strength iso 527 (mpa)	tensile modulus iso 527 (mpa)	elongation iso 527 (%)	hdt iso 75 (°C)
limited	spray 5.500 brush 9.000	15 15	het	50	3400	1,7	62
unlimited (incl. RAL, Instint, BS)	spray 6.000 brush 10.000	8 13	iso	70	3600	3,5	72
white	4000	5	iso/ortho	50	2500	7,0	50
unlimited	spray 6.000 brush 8.000	8 13	iso	60	3200	2,6	75
unlimited	spray 6.000 brush 8.000	8 13	ortho	55	3600	2,0	68



colour	viscosity brookfield rv 10 rpm, 23°C (mpas)	geltime 2,0% mekp-50 23°C (min)	base resin	tensile strength iso 527 (mpa)	tensile modulus iso 527 (mpa)	elongation iso 527 (%)	hdt iso 75 (°C)
clear	spray 6.000 brush 8.000	8 13	iso/NPG	55	2800	2,8	87
limited	spray 6.000 brush 8.000	8 13	iso/NPG	55	2800	2,8	87

gelcoat	characteristics / applications
ENGUARD GEL	Conductive gelcoats. For parts where reduced static electricity of importance.
ENGUARD PA 90000	PROPATCH patching additive is blended with gelcoat to repair gelcoated parts.
ENGUARD PC	Color paste based on reactive resin to pigment resin or clear gelcoat.
ENGUARD PM	Color paste based on monomer free resin used in SMC / BMC materials.
ENGUARD PX	Gelcoat with good adhesion to epoxy laminate.
ENGUARD SA 90200	Thixotropic base gelcoat to be blended with colour paste.
ENGUARD SI 90200	Thixotropic base gelcoat to be blended with colour paste.
ENGUARD SPE	Highly thixotropic isophthalic gelcoat putty. For fixing gelcoat joints, for repair, etc.
ENGUARD SPG	Highly thixotropic ISO/NPG gelcoat putty. For fixing gelcoat joints, for repair, etc.
ENGUARD SPN	Highly thixotropic ISO/NPG LE gelcoat putty. For fixing gelcoat joints, for repair, etc.
ENGUARD ST	Tooling gelcoat.

## seven check points to a good result

1

### storage area



2

### planning

See that enough of needed gelcoat grade is available.

Take gelcoat into the workshop well before use.



5

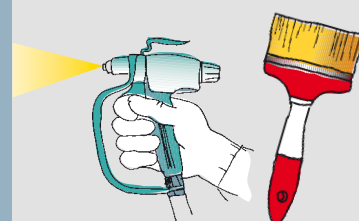
### catalyst



See that addition of MEKP-catalyst (1,5-2,5%) into gelcoat is accurate.

6

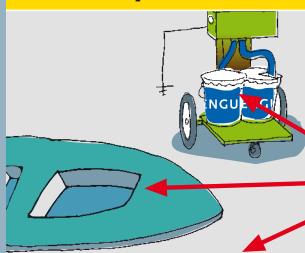
### application



Keep tools in good order and follow the spray equipment manufacturer's instructions.

colour	viscosity brookfield rv 10 rpm, 23°C (mpas)	gelttime 2,0% mekp-50 23°C (min)	base resin	tensile strength iso 527 (mpa)	tensile modulus iso 527 (mpa)	elongation iso 527 (%)	hdt iso 75 (°C)
black	10.000	12	Iso	70	3600	3,5	72
clear	- 50	7	-	-	-	-	-
unlimited	-	-	Iso	-	-	-	-
limited white, black, ivory	-	-	Monomer free resin	-	-	-	-
unlimited	spray 6.000 brush 8.000	8 13	-	60	3200	3,5	75
neutral	spray 6.000 brush 8.000	8 13	Iso/NPG	55	2800	2,8	87
neutral	spray 6.000 brush 8.000	8 13	Iso	60	3200	2,6	75
unlimited	high viscosity	8	Iso	-	-	-	-
unlimited	high viscosity	8	Iso	-	-	-	-
unlimited	high viscosity	8	Iso	-	-	-	-
black, green, blue	spray 6.000 brush 9.000	8 13	Iso	65	3700	3,0	107

3

**temperature**

See that the temperature of gelcoat, mould and workshop is **18-25 °C** before starting.

4

**preparation**

Stir the gelcoat gently in its original can/ package before use.



7

**finishing**

Close the lid of the can/package after use and move it to the storage area. Clean tools and spray equipment.



for more information see  
our *gelcoat handling guide*.

**Ashland Performance Materials  
Global Headquarters**

Pesetastraat 5  
2991 XT Barendrecht  
The Netherlands  
Tel: +31-10-497-5000

**Ashland Performance Materials  
North and South America**

5200 Blazer Pkwy.  
Dublin, OH 43017, USA  
Tel: +1.614.790.3333  
PMamericasales@ashland.com

**Ashland Performance Materials  
Europe, Middle East and Africa**

Carretera Reial 137 - 139  
08960 Sant Just Desvern (Barcelona)  
Spain  
tel: +34 93 206 5120  
fax: +34 93 470 6858  
PMeuropesales@ashland.com

**Ashland India Pvt Ltd**

No. 306, 3rd Floor,  
Devrata Building, Plot No. 83,  
Sector - 17, Vashi,  
Navi Mumbai - 400 705  
India  
tel: + 91 931 933 9136

**Ashland Performance Materials  
Asia Pacific**

18th Floor, 1089 Zhongshan No. 2 Rd. (S.)  
Xuhuiyuan Building  
Shanghai, 200030, P.R. China  
Tel: +86.21.2402.4888  
PMasiasales@ashland.com

[www.ashland.com](http://www.ashland.com)



**Responsible Care®**

\*Responsible Care and the Responsible Care logo are registered service marks of the American Chemistry Council in the United States and of other entities in other countries.

\* Registered Trademark, Ashland  
© 2009, Ashland. All rights reserved.

NOTICE: Ashland Inc. and its subsidiaries ("Ashland") believe that all information provided with respect to its products is accurate at the time such information is provided. All statements, information, and data presented herein are believed to be accurate and reliable, but are not to be taken as a guarantee, an express warranty, or an implied warranty of merchantability or fitness for a particular purpose, or representation, express or implied, for which Ashland assumes legal responsibility. They are offered solely for your consideration, investigation, and verification. All recommendations or suggestions contained herein must be evaluated by the user to determine their applicability or suitability for a particular application. Users are encouraged to read and understand the Material Safety Data Sheet (MSDS) and to abide by all use and safety recommendations detailed therein and on all product labeling. No freedom to use any patent owned by Ashland is to be inferred.

# Ashland Performance Materials



Ashland Performance Materials is the number one global leader in unsaturated polyester resins and vinyl ester resins. In addition, it provides customers with leading technologies in gelcoats, pressure-sensitive and structural adhesives, and metal casting consumables and design services.

**ASHLAND®**



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**  
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

**Proyecto Fin de Carrera**  
**ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE UN**  
**BUQUE DE GRAN ESLORA EN**  
**MATERIALES COMPUESTOS**

**CAPÍTULO 7**  
**Presupuesto**

**JOSÉ LUIS SÁEZ HERNÁNDEZ**





- ESTA PÁGINA HA SIDO INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO -



## Índice

1. Introducción .....	5
2. Coste de construcción .....	6
2.1. Coste del material a granel, CMg .....	8
2.2. Coste de la mano de obra, CMo .....	8
2.3. Coste de los equipos, CEq .....	9
2.4. Coste varios aplicados, CVa .....	10
3. Coste de adquisición. Inversión total .....	11
3.1. Beneficio industrial, BI .....	11
3.2. Primas y bonificaciones a la construcción naval, BCN .....	12
3.3. Gastos del armador, GA .....	14
3.4. Desgravación del armador, Dgr .....	14
4. Bibliografía .....	16



## Figuras

Figura 1. Salario mínimo España-USA .....	7
---	---



## 1. Introducción

En el Capítulo 7 del Proyecto se analizan los costes de construcción del buque objeto del Proyecto en función de los costes de materiales, mano de obra, montaje de los equipos, equipos de propulsión, etc.

En base al coste constructivo, se estudiará el coste de adquisición teniendo en cuenta el beneficio industrial y las –a día de hoy- inexistentes ayudas a las construcción naval.

Se obtiene la inversión total incluyendo los gastos del armador y se estiman las nuevas “tax lease” que se aprobaron en 2012 y que suponen un nuevo sistema de desgravación para el armador en la adquisición de buques dentro de unas determinadas condiciones.



## 2. Coste de construcción

El coste de construcción, CC, de un buque se suele calcular como la suma del coste de los materiales a granel; CMg, del coste de los equipos, CEq; del coste de la mano de obra, CMo y de otros costes aplicados, CVa.

$$CC = CMg + CEq + CMo + CVa$$

donde:

CC = Coste de construcción.

CMg = Coste de los materiales a granel.

CEq = Coste de los equipos.

CMo = Coste de la mano de obra.

CVa = Costes varios aplicados.

En la construcción del buque la mayor parte del coste proviene de suministros exteriores al propio astillero, manejándose en la actualidad las cifras medias siguientes: entre el 70% y el 80% son aportaciones ajenas y entre el 30% y el 20% valor añadido por el astillero.

Para la determinación de los costes de construcción naval en materiales compuestos se ha investigado ampliamente en Internet en la búsqueda de referencias conforme a las cuales realizar el presupuesto del buque. No es mucha la información disponible, pero de lo poco que hay, hemos podido sacar tres referencias distintas de tres fuentes totalmente dispares:

1. El coste del GRP fabricado e instalado en su entorno definitivo en Estados Unidos se encuentra entre los 125 y los 150 \$ por pie cuadrado (entre 997 y 1196 €/m<sup>2</sup>), según dos documentos técnicos del sector de la construcción en materiales compuestos.



2. El coste del GRP fabricado e instalado en su entorno definitivo se encuentra entre los 100 \$ por pie cuadrado (802 €/m<sup>2</sup>), según se referencia hallada en la *"International Conference and Exhibition on Reinforced Plastics"* de 2006.
3. El coste del material en función del peso es de 12.500,00 €/Tn; y el coste de la mano de obra se tasa en función de las horas de trabajo a una cuantía de 30 €/h por hombre, según un proyecto de referencia de catamarán en materiales compuestos realizado en la UCA.

En base a estos datos, sobre la estimación de peso de la estructura realizada en el Capítulo 3 obtuvimos las siguientes cifras:

1. Un coste de 3,8 millones de € (1,26)
2. Un coste de 3,0 millones de € (1)
3. Un coste de 3,4 millones de € (1,13)

Hay que tener en cuenta que la primera cifra es referente a precios de los Estados Unidos de América, por tanto se supone que está por encima del coste que tendría construir el barco en España, donde la mano de obra es más barata, un 26% menos.

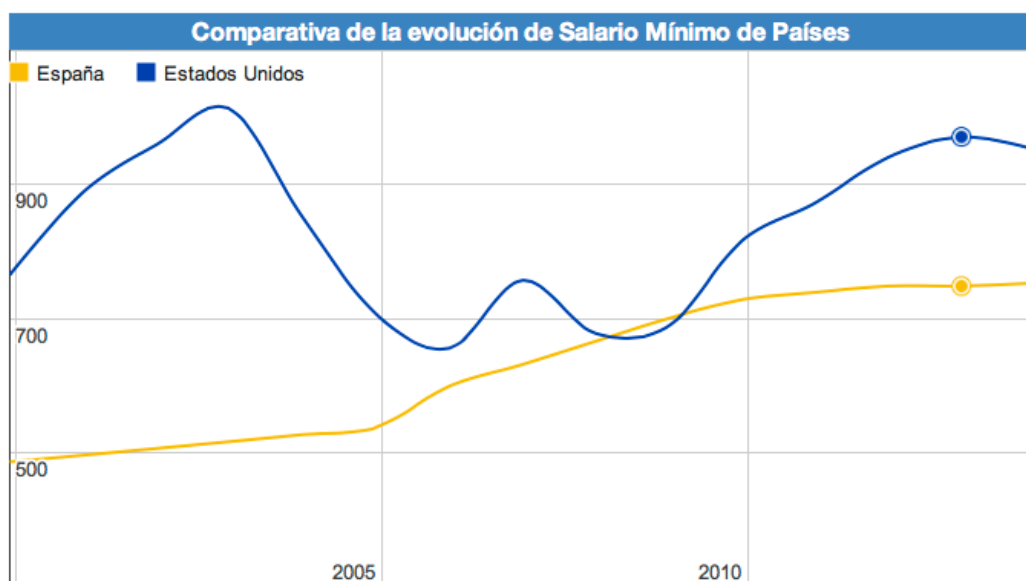


Figura 1. Salario mínimo España-USA



Por otro lado, la segunda cifra nos parece una buena referencia en base al origen del dato, sin embargo la última ofrecida nos parece más realista y ajustada a lo que podíamos prever en base a los datos obtenidos mediante las opciones 1 y 2, al ser una media de ambas.

Por este motivo, se usará esta última referencia para calcular el coste de construcción del Trimarán tal como sigue.

### 2.1. Coste del material a granel, CMg

El material a granel en este caso se compone de las planchas de laminado monolítico del forro exterior, de las planchas sándwich de cubiertas, mamparos y superestructuras que componen la estructura principal del buque. En esta partida se incluye todo aquel material que no constituye equipos comerciales y sus fijaciones, tales como tuberías, cables eléctricos, escalas, tecles, etc.

El coste del material a granel restante irá incorporado al servicio o sistema del buque a que pertenece. Por tanto podemos considerar que el coste del material a granel depende del coste del estructura.

Conforme al análisis del apartado 2, el coste de los materiales a granel será:

$$CMg = 12.500,00 \text{ (€/Tn)} \times 106,02 \text{ (Tn)} = 1.325.250,00\text{€}$$

$$CMg = 1.325.250,00\text{€}$$

### 2.2. Coste de la mano de obra, CMo

El coste de la mano de obra, CMo, se desglosa en dos partes: el coste del montaje de los materiales a granel, CmM y el coste del montaje de los equipos, CmE.

$$CMo = CmM + CmE$$

Este último se toma igual al obtenido por el Proyecto de Referencia nº 1664, pues se estima que no existirán grandes diferencias entre el coste de la mano de obra del



montaje de los equipos a bordo de una estructura de aluminio de este de materiales compuestos.

$$CmE = 1.440.000,00 \text{ €}$$

El coste del montaje de los materiales a granel se estima en función del número de horas previstas, un total de 70.000 h que se supone en proporción al coste de la mano de obra en función del tonelaje del buque. Así, a una media de 30 €/h por hombre:

$$CmM = 70.000 \text{ (h)} \times 30,00 \text{ (€/h)} = 2.100.000,00 \text{ €}$$

En resumen, el coste de la mano de obra:

$$CMo = 2.100.000,00 \text{ €} + 1.440.000,00 \text{ €} = 3.540.000,00 \text{ €}$$

$$CMo = 3.540.000,00 \text{ €}$$

### 2.3. Coste de los equipos, CEq

El coste de los equipos, CEq, se desglosa en:

$$CEq = CEc + CEp + CEhf + CEr$$

donde:

CEc = Coste del casino, bar y restaurante

CEp = Coste de los equipos de propulsión y auxiliares

CEhf = Coste de los equipos de habilitación y fonda

CEr = Coste de equipos restantes

Estos costes se toman igual al obtenido por el Proyecto de Referencia nº 1664, para poder hacer un posterior análisis comparativo de costes. Así:

$$CEq = 777.110,00 + 3.212.845,00 + 2.524.942,00 = 6.514.897,00 \text{ €}$$

$$CEq = 6.514.897,00 \text{ €}$$





## 2.4. Coste varios aplicados, CVa

Son los costes para el astillero de todo lo que, sin intervenir en el proceso de construcción de un buque, tiene un coste directo.

Estos los podemos calcular en función del coste de construcción, CC,

$$Cva = cva \times CC$$

Podemos suponer:  $0.05 < cva < 0.10$ .

$$Cva = 0,05 \times 11.949.154,35 = 569.007,35 \text{ €}$$

$$\mathbf{Cva = 569.007,35\text{€}}$$

En resumen, el coste de construcción del Trimarán en materiales compuestos asciende a:

$$CC = CMg + CEq + CMo + CVa$$

$$CC = 1.325.250,00 + 6.514.897,00 + 3.540.000,00 + 568.007,35 = 11.949.154,35\text{€}$$

$$\mathbf{CC = 11.949.154,35\text{€}}$$



### 3. Coste de adquisición. Inversión total

El coste de adquisición, CA, es la suma del coste de construcción, CC, más el beneficio industrial, BI, menos las primas o bonificaciones a la construcción naval, BCN.

$$CA = CC + BI - BCN$$

donde:

CA = Coste de adquisición.

CC = Coste de construcción.

BI = Beneficio industrial.

BCN = Primas o bonificaciones a la construcción naval.

#### 3.1. Beneficio industrial, BI

El beneficio industrial está condicionado por el precio de mercado, lo que ha obligado en ocasiones al astillero a contratar con pérdidas. Normalmente el beneficio industrial se expresa como un porcentaje del coste de construcción y varía, en periodos económicos normales, entre el 5% y el 20%.

$$BI = bi \times CC$$

donde:

CA = Coste de adquisición.

CC = Coste de construcción.

BI = Beneficio industrial.

$$BI = 0,10 \times 11.949.154,35 = 1.194.915,44\text{€}$$

$$\mathbf{BI = 1.194.915,44\text{€}}$$



### 3.2. Primas y bonificaciones a la construcción naval, BCN

El gobierno solía establecer diversas modalidades de primas a la construcción naval, BCN, entre otras razones para evitar, en ciertas ocasiones, las pérdidas de los astilleros impidiendo el cierre de los mismos por los problemas sociales que acarrearían en la zona de influencia de los mismos. Así

$$BCN = bcn \times IT$$

Sin embargo, en las últimas fechas la construcción naval española ha sufrido un duro revés debido a que la Comisión Europea ha exigido la devolución a las arcas públicas españolas de las ayudas que proporcionó el Estado a los inversores navieros entre 2007 y 2011.

El “tax lease” es el **Sistema Español de Arrendamiento Fiscal** aplicable a las empresas navieras desde 2002 (SEAF). Este sistema permitía que las empresas de transporte marítimo adquirieran buques en España con un descuento de entre un 20% y un 30%.

Una operación del SEAF permite a un propietario tener un buque nuevo construido con un descuento respecto al precio que cobra el astillero. Con el fin de obtener el precio rebajado, una empresa naviera debe aceptar no comprar el buque directamente al astillero, sino a una Agrupación de Interés Económico (AIE).

En la práctica, la AIE es un intermediario que arrienda el buque a la otra compañía desde la fecha en que comienza su construcción. En el caso de España, las empresas involucradas no tienen que ver con el sector naval, como son Inditex, el Banco Santander o Ikea.

Los beneficios fiscales los obtienen los inversores. A cambio, la empresa naviera recibe un descuento sobre el precio del buque.

Por otro lado, el **Real Decreto 237/2013**, de 5 de abril, por el que se modifica el Real Decreto 442/1994, de 11 de marzo, sobre primas y financiación a la construcción



naval, para adecuarlo a las normas del derecho de la Unión Europea, especifica que el artículo 6 queda redactado como sigue:

“A los efectos del presente real decreto, por construcción de artefactos navales que realicen las empresas de construcción naval con programas aprobados con arreglo a lo establecido en el artículo 5, se entiende la de aquellos artefactos navales de casco metálico que tengan la consideración de buques mercantes autopropulsados, es decir, buques que, mediante su propulsión y gobierno permanentes, tengan todas las características para la navegación autónoma en alta mar o en vías navegables interiores y pertenezcan a una de las siguientes categorías:

- i) los buques de alta mar de un arqueo bruto (GT) igual o superior a 100 t y los buques de navegación interior de tamaño equivalente utilizados para el transporte de pasajeros o mercancías;
- ii) los buques de alta mar y los buques de navegación interior para servicios especializados (por ejemplo, dragas y rompehielos) de un arqueo bruto (GT) igual o superior a 100 t;
- iii) los remolcadores de potencia igual o superior a 365 kW;
- iv) los cascos no finalizados de los buques mencionados en los incisos i), ii) y iii), móviles y a flote.”

Por tanto, el buque de Proyecto no quedaría enmarcado entre las ayudas gubernamentales.

Por otro lado, el Programa de **Fomento de la Investigación Técnica PROFIT** fue un instrumento mediante el cual el Gobierno articuló un conjunto de convocatorias de ayudas públicas, destinadas a estimular a las empresas y a otras entidades a llevar a cabo actividades de investigación y desarrollo tecnológico; según los objetivos establecidos en el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+I) 2004-2007, en la parte dedicada al Fomento de la Investigación Técnica.



Dichas ayudas referidas en el Proyecto de referencia “Trimarán 50 Aluminio”, se hayan actualmente sin resolver, ni fecha de convocatoria en el BOE, por lo que tampoco se consideran de aplicación.

Por este motivo, se supone una nula bonificación por ayuda gubernamental o través de inversores e intermediarios entre el armador y el astillero (tax lease).

### 3.3. Gastos del armador, GA

En esta partida se incluyen los cargos y respetos que adquiere directamente el armador y los costes directos a cargo del armador, tales como: gastos notariales, hipotecas, inspección de la construcción del buque, adiestramiento de la tripulación, IVA, etc. Se suele estimar como un porcentaje de la inversión total que se puede estimar entre un 20% y un 25%.

$$GA = ga \times IT$$

$$GA = 0,25 \times 14.787.078,51 = 3.286.017,45\text{€}$$

$$GA = 3.286.017,45\text{€}$$

### 3.4. Desgravación del armador, Dgr

Desde el 20 de noviembre de 2012 el sector naval español cuenta con un nuevo sistema de “tax lease”, es decir, con un mecanismo de ingeniería fiscal que permite a un potencial inversor obtener desgravaciones a la hora de financiar un proyecto industrial.

El nuevo régimen autorizará la deducción del valor fiscal de determinados activos adquiridos a través de arrendamientos financieros desde el inicio de la construcción del bien en cuestión, sin esperar a su explotación comercial.

El sistema corrige el anterior “tax lease” al extender su aplicabilidad a cualquier bien adquirido mediante arrendamiento financiero: más allá del sector naval, está previsto su uso para la inversión en la fabricación de aviones, trenes o grandes



producciones cinematográficas. La construcción de los bienes que se acogen al sistema tiene, sin embargo, que cumplir con las dos condiciones de no ser producidos en serie y de que su periodo de fabricación sea como mínimo de un año.

El nuevo “tax lease” podrá aplicarse tanto a los bienes fabricados en España como a los producidos fuera de las fronteras nacionales. Asimismo, la medida se puede poner en marcha de manera automática y no está sujeta a la aprobación previa de la administración fiscal. De hecho, Astilleros Balenciaga ya ha cerrado dos contratos de barcos offshore con el nuevo ‘tax lease’.

El vicepresidente de la Comisión Europea responsable de la política de competencia, Joaquín Almunia, declaró tras su aprobación que este “tax lease” es compatible con las normas que prohíben las ayudas de Estado en la UE.

Se estima una desgravación para el armador de un 10% de la inversión total:

$$\text{Dgr} = 1.643.008,72\text{€}$$

Por tanto, la inversión total por la construcción del Trimarán en materiales compuestos es de:

$$IT = CA + ga - Dgr = CC + BI - BCN + ga - Dgr$$

$$\text{IT} = 14.787.078,51\text{€}$$



## 4. Bibliografía

### Escrita

- Apuntes de “Proyectos”, J.U. DEGANÓ. Universidad Politécnica de Cartagena
- “El proyecto básico del buque mercante”. R. ALVARIÑO, J.J. AZPIRUZ y M. MEIZOSO. F.E.I.N.
- “The rapid growth of fiberglass reinforced plastic (GRP) in FGD systems”. T. JOHNSON, D. KELLEY, M. STEVENS. Ashland Performance Materials
- “Applications of fiber reinforced polymer composites”. Hota GANGARAO, Ray LIANG. West Virginia University. ICERP 2006, Chennai, India, 23-25 February, 2006.
- “Diseño del proceso de fabricación de un catamarán en fibra de vidrio en astillero”. M.R. BUSTO. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Cádiz.
- “Informe Gerencia del Sector Naval 2010”. Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

### Internet

<http://www.engineerlive.com>

<http://scholar.lib.vt.edu>

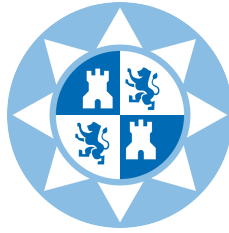
<http://www.ifs-GRP.com>

<http://www.compositesuk.co.uk>

<http://noticias.juridicas.com>

<http://www.minetur.gob.es>

<http://www.datosmacro.com>



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

**Proyecto Fin de Carrera**  
**ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE UN  
BUQUE DE GRAN ESLORA EN  
MATERIALES COMPUESTOS**

**CAPÍTULO 8**  
**Análisis Comparativo y Viabilidad del Proyecto**

**JOSÉ LUIS SÁEZ HERNÁNDEZ**





- ESTA PÁGINA HA SIDO INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO -



## Índice

1. Introducción .....	5
2. Análisis de los Materiales y la Estructura.....	6
2.1. Resistencia al ambiente marino .....	6
2.2. Resistencia y Fatiga .....	7
2.3. Inercia química.....	7
2.4. Orientación de la resistencia de las fibras.....	7
2.5. Flexibilidad y Rigidez .....	8
2.6. Vida útil .....	8
2.7. Vibraciones .....	9
2.8. Abrasión .....	9
2.9. Vulnerabilidad al fuego .....	9
3. Análisis de Pesos .....	11
3.1. Construcción de casco sándwich .....	13
4. Análisis de Estabilidad.....	14
5. Análisis de la Producción.....	16
5.1. Construcción sin costuras .....	16
5.2. Formas complicadas.....	17
6. Análisis de Costes .....	18
7. Conclusiones.....	19



## Tablas

Tabla 1. Peso y centro de gravedad de las estructuras GRP y Aluminio.....	11
Tabla 2. Comparativa laminados monolítico y sándwich para forro exterior del casco .....	13
Tabla 2. Resumen entre aluminio y GRP .....	21

## Figuras

Figura 1. Desglose del Peso en Rosca en GRP.....	12
Figura 2. Comparativa de brazos adrizantes entre GRP (azul) y Aluminio (Rojo) .....	14



## **1. Introducción**

En el Capítulo 8 del Proyecto se analizan los distintos resultados obtenidos en los cuadernos anteriores, realizando una comparativa entre las construcciones de aluminio y materiales compuestos que nos ayuden a sacar las conclusiones finales del proyecto acerca de la viabilidad del Trimarán en materiales compuestos.



## **2. Análisis de los Materiales y la Estructura**

### **2.1. Resistencia al ambiente marino**

Una de las principales ventajas que se obtendría mediante la construcción en materiales compuestos del Trimarán sería una buena resistencia al ambiente marino. El GRP no se corroe o deteriora cuando se expone a largos periodos de sal, aire o agua, siempre y cuando se empleen las formulaciones adecuadas.

El aluminio H111 (100% marino) es inmune a la corrosión. No necesita ser pintado para proteger sus cualidades. Sin embargo, deberá pintarse la obra viva con anti-fouling, la cual rinde más que en las embarcaciones de fibra de vidrio.

Con la construcción GRP estaríamos evitando los fenómenos de corrosión galvánica, el proceso electroquímico en el que un metal se corroe preferentemente cuando está en contacto eléctrico con un tipo diferente de metal (más noble) y ambos metales se encuentran inmersos en un electrolito o medio húmedo.

Estos fenómenos de corrosión galvánica están presentes normalmente en los buques de aluminio, en las zonas donde el aluminio coexiste junto al acero, por ejemplo en la popa junto a los waterjets, donde habría que poner especial cuidado en la instalación y posterior mantenimiento mediante ánodos de zinc.

Los numerosos problemas de agrietamiento y su coste de reparación y mantenimiento, así como los recientes problemas de corrosión galvánica aparecidos en el USS Independence, el primer trimarán de la serie LCS (Littoral Combat Ship), han llevado a la US Navy, por ejemplo, a excluir en sus futuros proyectos el uso del aluminio en sus buques.



## **2.2. Resistencia y Fatiga**

La resistencia de las embarcaciones construidas en materiales compuestos es alta en relación a su peso y los periodos de exposición prolongados al agua de mar tienen un efecto reducido en sus propiedades.

Si bien esto no suponga una clara ventaja frente al aluminio, pues también presenta una buena rigidez con un bajo peso, el buque de aluminio como toda unión soldada sufre una disminución drástica de sus propiedades mecánicas, y por tanto es susceptible de sufrir problemas de fatiga.

## **2.3. Inercia química**

Los materiales compuestos disponen de una buena inercia química, no reaccionan con el agua del mar, ni con la mayoría de las cargas, y no sufre electrólisis como hemos dicho anteriormente, lo cual supone una clara ventaja sobre la estructura de aluminio.

Para evitar que los buques de aluminio no reaccionen químicamente con otros agentes de su entorno, al aluminio se le deberá proteger superficialmente mediante un anodizado. La delgada capa anódica aumenta, en forma notable, la dureza y la resistencia natural del metal a la acción agresiva y corrosiva de los agentes atmosféricos, conservando de esta forma inalterable el brillo y la vistosidad inherentes al aluminio.

## **2.4. Orientación de la resistencia de las fibras**

El problema de construcción de formas complicadas que se presenta cuando se trabaja con materiales convencionales, incluido el aluminio, se resuelve con facilidad en la construcción en materiales compuestos, ya que dichas formas quedan incorporadas en el molde.

Por la forma en que pueden laminarse los plásticos reforzados, el proyectista puede aprovechar direcciones determinadas para aumentar la resistencia.



En los tejidos unidireccionales predomina una dirección sobre otra desde el punto de vista de las propiedades mecánicas. También existen tejidos multiaxiales, triaxiales con entrelazados a  $0$  y  $\pm 45^\circ$ , y cuadriaxiales con entrelazados a  $0$ ,  $\pm 45^\circ$  y  $\pm 90^\circ$ , que pueden ser utilizados en zonas donde se conocen la dirección de los esfuerzos, y se puede hacer coincidir las direcciones del tejido con ellas para optimizar su función estructural.

## 2.5. Flexibilidad y Rigidez

El bajo módulo de Young o módulo de elasticidad de la fibra de vidrio es beneficioso para absorber la energía de cargas de impacto, si bien este factor puede tener su parte negativa en otros conceptos.

Según nuestros cálculos, por ejemplo, el Módulo de Elasticidad (E) del laminado monolítico del casco es de 14 GPa, mientras que el del aluminio será del orden de 69 GPa.

Esto representa para un espesor equivalente una flexión del orden de 5 veces la de un casco de aluminio, y esto evidentemente puede acarrear problemas por desalineaciones.

Gracias a su elevada ductilidad, el aluminio tiene mayor capacidad para absorber deformaciones sin roturas en caso de impactos.

## 2.6. Vida útil

Las propiedades de los materiales compuestos pueden mantenerse más de veinte años sin degradación apreciable según estudios de la US Navy, y se ha probado su durabilidad hasta 75 años.

Por su parte, el aluminio es considerado uno de los materiales de más larga vida útil. No se deteriora por la exposición permanente a los rayos solares. Tampoco sufre los efectos de la ósmosis, y resiste mucho mejor la incrustación de algas y lapas



cuando la embarcación lleva mucho tiempo inactiva. Esto supone que después de los años, las embarcaciones de aluminio mantienen sus condiciones iniciales.

## **2.7. Vibraciones**

Otra ventaja de la estructura de aluminio frente a la composite viene dado nuevamente por el bajo módulo de elasticidad del GRP, debido al cual se pueden originar problemas con las frecuencias naturales y la resonancia potencial en las vibraciones forzadas del sistema de propulsión.

Este handicap se intenta minimizar mediante el uso de resinas viniléster, adecuadas para zonas sometidas a altas tensiones y vibraciones.

## **2.8. Abrasión**

La resistencia a la abrasión del GRP no es generalmente satisfactoria. No obstante, se puede incrementar la resistencia a la abrasión con aditivos especiales, por lo que en este caso la ventaja es para el aluminio, que es bastante resistente a los accidentes por abrasión en la superficie del casco.

## **2.9. Vulnerabilidad al fuego**

Las resinas de uso general son combustibles y los laminados pierden rápidamente su resistencia en caso de incendio cuando incorporan este tipo de resinas. Las resinas que se utilizan con aditivos o formulaciones especiales para resistir el fuego suelen tener resistencia mecánica inferior a las de tipo normal y por ello, en algunos casos, no se pueden emplear. El uso de barreras adecuadas formadas con capas de fibra de vidrio especiales proporciona resultados satisfactorios.

Se ha seleccionado para el Proyecto una resina de viniléster epóxico de carácter ignífugo, que proporciona dispersión de llama y humo Clase I, con un índice inferior a 25, según el método ASTM D2863, por lo que no se prevén problemas de vulnerabilidad al fuego, aunque es evidente que las propiedades de resistencia al





fuego del aluminio hacen más segura este tipo de estructuras.



### 3. Análisis de Pesos

La construcción en fibra proporciona buques de un peso ligero con un diseño correcto y un control eficiente en la producción. Las estructuras GRP pueden construirse con un peso mitad de las estructuras en acero y de un peso aproximado a las equivalentes en aluminio.

Esta última afirmación es precisamente la principal conclusión del Proyecto, la construcción naval de estructuras de fibra consigue unos pesos muy bajos, pero muy aproximados a los obtenidos con estructuras de aluminio.

Tras el escantillonado del buque, comprobación de los criterios de resistencia por parte de la Sociedad de Clasificación y estudio de pesos, en el Capítulo 4 se ha obtenido un **peso de la estructura** igual a 106,02 Tn. Según el proyecto de referencia del Trimarán en Aluminio, el peso de la estructura asciende a 123,87 Tn. Por tanto, la reducción de peso conseguida es de 17,85 Tn, un 16,8%.

En cuanto a la ubicación del **centro de gravedad del peso de la estructura**, se consiguiendo una disminución de la componente vertical de 1,56 m, y retrasar la componente longitudinal en 3,13 m.

Peso Estructura	106,02 Tn	Peso Estructura (Alum)	123,87 Tn
$x_g$ (m)	19,12 m	$x_g$ (m)	22,25 m
$y_g$ (m)	0,00 m	$y_g$ (m)	0,00 m
$z_g$ (m)	5,26 m	$z_g$ (m)	6,82 m

Tabla 1. Peso y centro de gravedad de las estructuras GRP y Aluminio

Para poder realizar un análisis comparativo, el resto de partidas que forman parte del peso en rosca, así como el peso muerto, se han supuesto invariantes.

Así, el **peso en rosca** obtenido para el buque en GRP es de 710,80 Tn, frente a las 728,75 Tn del buque en aluminio, esto es, tan sólo un 2,5% de reducción. Por tanto, se observa que en este caso concreto, la disminución de la partida estructural no es significativa respecto al peso final del buque en rosca.

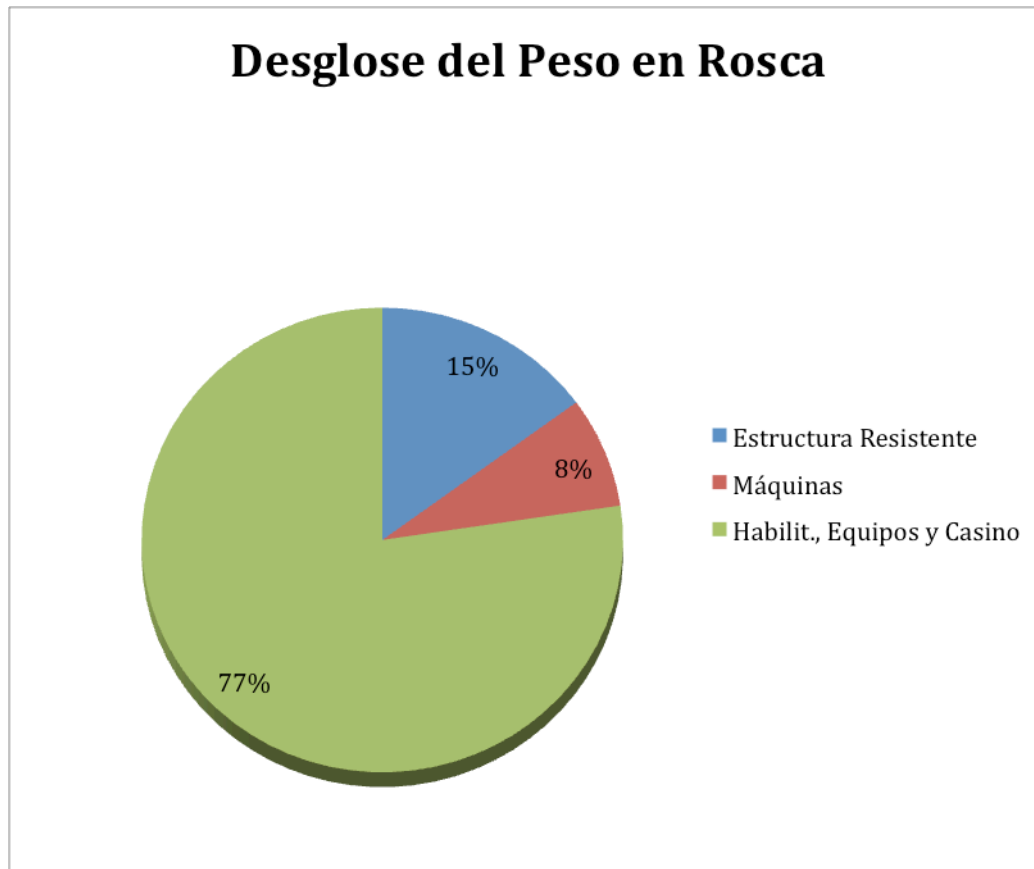


Figura 1. Desglose del Peso en Rosca en GRP

Al sumar el **peso muerto** obtendremos el desplazamiento del buque en sus distintas situaciones de carga. Así, para la condición de salida de puerto con el 100% de consumos, el desplazamiento del barco sería de 832,97 Tn, un 2,06% menos pesado que el buque de referencia, y con un centro de gravedad más bajo y hacia popa.

Entrando en la curva de áreas para obtener el **calado de referencia** obtenemos un valor de 2,841 m, una variación de 60 cm respecto al buque de aluminio en la sección media del buque, algo no significativo.

Por tanto, se concluye que no se obtendrán grandes beneficios por la fabricación del casco en fibra en propulsión, uno de los objetivos marcados como objetivos al inicio del proyecto. El motivo es que ante la igualdad de forma y calado, la superficie mojada de la obra viva será equivalente, y por tanto, la resistencia al avance del buque



será muy similar, requiriendo por tanto de una propulsión exacta para proporcionar el empuje requerido y navegar a la velocidad exigida.

### 3.1. Construcción de casco sándwich

Una posible opción en la búsqueda de mayor disminución del peso estructural del buque hubiera sido una construcción enteramente en sándwich, que hubiera incluido el forro exterior del casco también.

Se ha realizado un análisis paralelo de dicha situación, dando como resultado los siguientes datos:

Concepto	Laminado monolítico	Laminado sándwich
Peso estructural	106,02 Tn	83,80 Tn
Peso en rosca	710,80 Tn	688,70 Tn
Desplazamiento 100% consumos	832,97 Tn	810,77 Tn
Desplazamiento 10% consumos	711,59 Tn	729,39 Tn
Calado (100%)	2,841 m	2,817 m

Tabla 2. Comparativa laminados monolítico y sándwich para forro exterior del casco

Por tanto, vemos que podrían haber sido 20 toneladas adicionales de disminución de peso, que hubieran supuesto 2,4 cm menos de calado, algo que no es tampoco significativo en términos de reducción de potencia.

Sin embargo, esta opción ha sido descartada por tres razones:

1. La primera es que la experiencia visible de diseños similares usan laminado monolítico en el casco y laminado sándwich en mamparos y cubiertas.
2. La segunda es que se precisa de un núcleo de gran espesor (70 mm) para cumplir con los requisitos de tensión a cortante.
3. La tercera es que los paneles sándwich podrían presentar problemas de unión debido al slamming.



## 4. Análisis de Estabilidad

Del análisis de las situaciones de carga, se observa que los valores de estabilidad conseguidos a través de los nuevos pesos y la diferencia de posición del centro de gravedad, más bajo y más a popa, suponen una ligera reducción en los momentos adrizantes del buque, lo que provocará que la respuesta a una escora sea más lenta.

Para el modelo en fibra, en la situación de salida de puerto, con el 100% de consumos, el máximo GZ se produce a 50° de escora, y tiene un valor de 2,37 m.

Para el modelo en aluminio, en la situación de salida de puerto, con el 100% de consumos, el máximo GZ se produce a 60° de escora, y tiene un valor de 3,12 m.

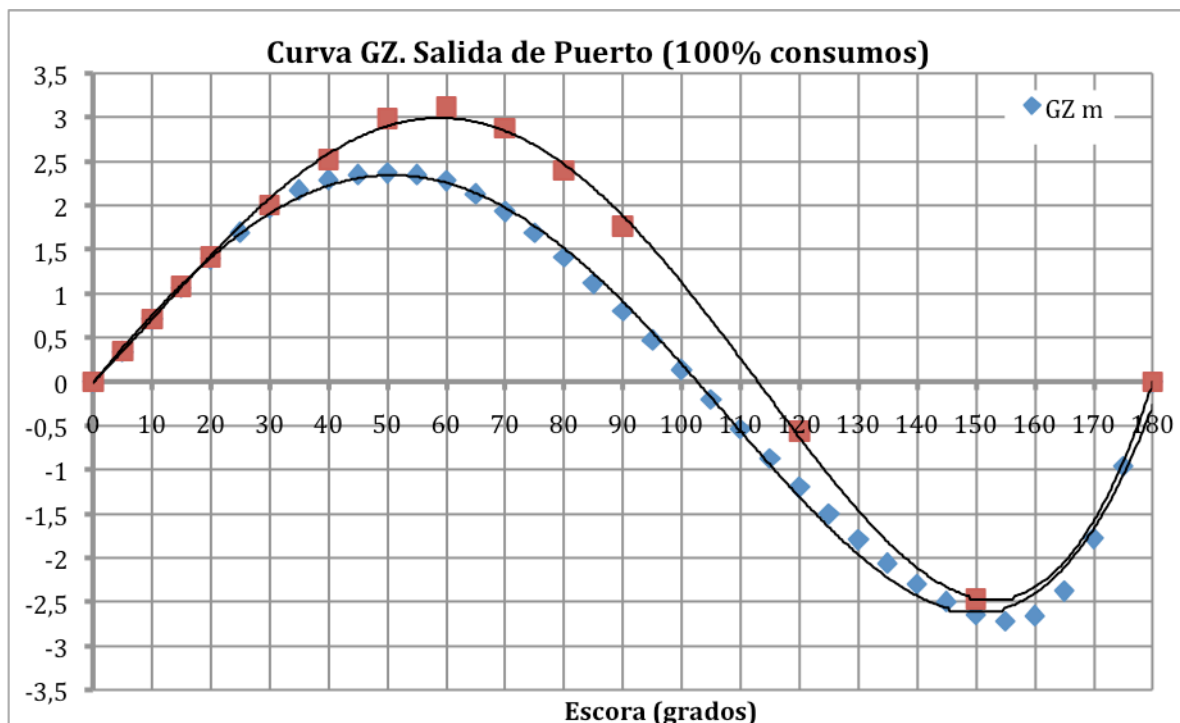


Figura 2. Comparativa de brazos adrizantes entre GRP (azul) y Aluminio (Rojo)

Como sabemos, el **brazo adrizante** (GZ) es una de las principales medidas de la estabilidad del buque. Si su valor es demasiado elevado, la respuesta del buque a una escora es importante y los balances del buque son rápidos y cortos. Cuando esta



respuesta es excesiva, se habla de buques “duros”. Por el contrario, cuando la estabilidad es escasa los balances son lentos y largos, y se habla de buques “blandos”.

Según se especificaba en el Capítulo 5, los criterios de estabilidad exigidos por la Administración se cumplen ampliamente.

Por tanto, aunque a priori podamos pensar que un menor GZ supone una menor capacidad en la estabilidad, entendemos que el efecto de reducción del peso, la disminución del KG y un XG más a popa ha supuesto una mejora en las condiciones marineras del buque, manteniendo una respuesta segura y adecuada, y con momentos adrizantes menos rápidos, lo que redundará a buen seguro en la habitabilidad e índice de mareos del pasaje.



## 5. Análisis de la Producción

Los procesos de fabricación en materiales compuestos son simples y fácilmente controlables, y además tienen dos importantes ventajas sobre el aluminio: la posibilidad de realizar un casco enteramente, sin costuras; y la construcción de formas complicadas.

Por su parte, la soldadura del aluminio presenta algunos inconvenientes e incluso para los expertos en la soldadura de aceros, el soldeo de las aleaciones de aluminio puede presentar un verdadero desafío. La porosidad puede convertirse en un problema importante al soldar aluminio; se debe principalmente a la absorción de hidrógeno por el baño de fusión, con lo que se forman poros al solidificarse el metal de la soldadura.

La mayor conductividad térmica y el menor punto de fusión de las aleaciones de aluminio pueden fácilmente producir perforaciones a menos que los soldadores sigan unos procedimientos adecuados.

### 5.1. Construcción sin costuras

Los cascos fabricados en materiales compuestos se fabrican generalmente de una pieza, sin solapes ni costuras, si bien en el caso de esloras superiores a 40 m pueden utilizarse sistemas combinados, aunque se optará por un molde en varias piezas para facilitar el desmoldeo y facilitar la realización del casco central y los laterales.

Con este tipo de fabricación, y siempre usando moldes de calidad, puede obtenerse una superficie pulida y con un grado de acabado definitivo.



## 5.2. Formas complicadas

El problema de construcción de formas complicadas que se presenta cuando se trabaja en los materiales convencionales se resuelve con facilidad en las construcciones en fibra, ya que dichas formas quedan incorporadas en el molde.





## 6. Análisis de Costes

En el apartado económico se puede concluir que aunque el coste de los materiales de GRP es más alto que el acero, el coste total de una embarcación construida en materiales compuestos resulta equivalente a la de acero siempre que el número de unidades para amortizar moldes y útiles sea el adecuado; y la construcción de cascos de GRP resulta competitiva con los de aluminio para series de producción grandes. Dada la especificidad del tipo de barco en Proyecto, que no suele hacerse en serie, el coste de adquisición es ciertamente más elevado que mediante la fabricación de la estructura en aluminio.

Los datos obtenidos en el Capítulo 7 arrojan un coste de adquisición del buque en GRP de 13.144.069,79€ frente a los 9.852.138 € presupuestados para el buque de referencia en aluminio, suponen un diferencial de un 25%, algo más de 3 millones de euros.

Dicha inversión inicial tampoco está claro que podría verse compensada durante la vida útil del buque en un menor coste de mantenimiento, pues no existen estudios concretos al respecto.

Por tanto, la construcción del Trimarán en materiales compuestos tendría un coste mucho mayor que la misma construcción en aluminio. Sin embargo, cabría hacerse una pregunta que podría devenir en un ulterior análisis (o vuelta en el ciclo del proyecto), y es si con esta disminución de peso de casi 18 toneladas podríamos aumentar la capacidad del pasaje con el incremento de la manga, por ejemplo, y por tanto obtener unos mayores ingresos de explotación.



## 7. Conclusiones

Se ha determinado la situación, espaciado y escantillón de los elementos principales de la **estructura** obteniendo una adecuada resistencia y seguridad, a la vez que intentando minimizar el peso de la estructura. Se ha usado para ello el reglamento del DNV, Rules For Classification of Det Norske Veritas “High Speed, Light Craft And Naval Surface Craft”.

En función de los datos obtenidos, y al tratarse de un proyecto conceptual con gran carga didáctica, no se ha considerado la opción de conseguir un diseño intrínsecamente seguro mediante un diseño racional de la estructura basado directa y enteramente en la teoría de estructuras y en métodos de análisis y optimización estructural implementado por ordenador. Dicha tarea debería ser realizada de forma imperativa durante la fase de un hipotético proyecto de clasificación o proyecto de construcción detallado.

Se ha logrado el objetivo de demostrar que la estructura construida en materiales compuestos supone una disminución del peso de la estructura, y por ende del peso en rosca, logrando suficiente resistencia ante la aplicación de idénticas cargas, sin poner en riesgo la seguridad del buque, pudiendo llegar más allá de ser necesario fabricando el casco enteramente en sándwich.

Se ha analizado la nueva distribución de **pesos y centro de gravedad** resultante observando que sin bien la reducción del peso de la estructura es importante, un 16%, al tener en cuenta el resto de partidas del peso en rosca, la reducción de peso se hace menos vehemente (2,7%), una vez sumada la maquinaria, los equipos y servicios. De hecho el calado de referencia en ambos casos es casi el mismo, y por tanto no se conseguirán beneficios por una reducción de potencia de **propulsión**, que redunde en un menor gasto de combustible, menores gastos operativos y mayor rentabilidad del armador por el hecho de construir el casco en fibra de vidrio en vez de aluminio.



Se ha puesto un especial cuidado en los requisitos que las Sociedades de Clasificación establecen para la seguridad de los buques en la lucha contra el **fuego**, principal handicap de los buques contruidos en materiales compuestos. Por este motivo, se ha analizado el mercado de las resinas, gel coats y top coats en la búsqueda de materias primas de suficiente garantía para obtener una adecuada resistencia al fuego. Consecuencia de este estudio se han seleccionado resinas de viniléster epóxicas e ignífugas de Clase I, al igual que recubrimientos gel coat y top coat que están aprobados por Det Norske Veritas.

Se ha analizado en profundidad las características de los **materiales** que entran en juego en las construcción de composites: las resinas, las fibras, los núcleos. Así mismo, se ha realizado de forma somera una comparativa entre los **procesos de fabricación**, seleccionando el moldeo a mano como el de mayor uso y menor coste, puestos a competir con el aluminio, cuyo proceso de construcción y soldadura es significativamente más delicado que la fabricación de GRP.

Por último se han analizados **costes** productivos derivados de la construcción en materiales compuestos, que en comparación con los costes de construcción de la estructura de aluminio están en clara desventaja.

A continuación se expone de una manera resumida los puntos clave de ambas construcciones conforme a los temas tratados durante todo este Proyecto.

	Trimarán <b>Aluminio</b>	Trimarán <b>GRP</b>
Resistencia al ambiente marino	✗	✓
Resistencia en relación al peso	✓	✓
Fatiga de los materiales	✗	✓
Inercia química	✗	✓
Orientación de las fibras	✗	✓
Flexibilidad	✓	✗
Rigidez	✓	✗
Vida útil	✓	✓



Vibraciones	✓	✓
Abrasión	✗	✓
Vulnerabilidad al fuego	✓	✗
Peso	✗	✓
Estabilidad	✓	✓
Procesos de fabricación	✗	✓
Coste económico	✓	✗

Tabla 3. Resumen entre aluminio y GRP

La conclusión final de este análisis de viabilidad de un buque de gran eslora en materiales compuestos es que, aún cuando la misma hoy en día es técnicamente posible, su elevado coste de construcción no compensa las ventajas derivadas de un casco en fibra, siendo la construcción en aluminio más óptima desde el punto de vista económico para buques como este ferry multicasco ligero y de alta velocidad.



- ESTA PÁGINA HA SIDO INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO -